ONDERZOEKINGEN

GEDAAN IN HET

PHYSIOLOGISCH LABORATORIUM

DER

UTRECHTSCHE HOOGESCHOOL.

UITGEGEVEN

DOOR

F. C. DONDERS en Th. W. ENGELMANN.

DERDE REEKS.

IX.



UTRECHT,
G. METZELAAR.
1884.

ONDERZOEKINGEN,

GEDAAN IN HET

PHYSIOLOGISCH LABORATORIUM

DER

UTRECHTSCHE HOOGESCHOOL.

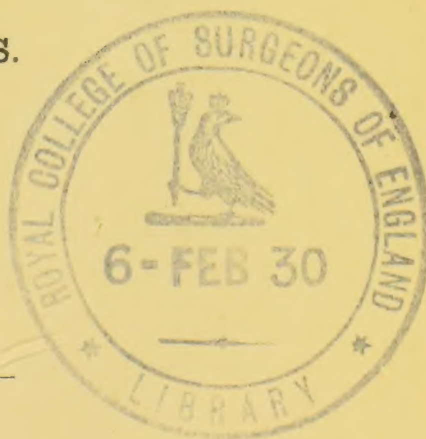
UITGEGEVEN

DOOR

F. C. DONDERS en Th. W. ENGELMANN.

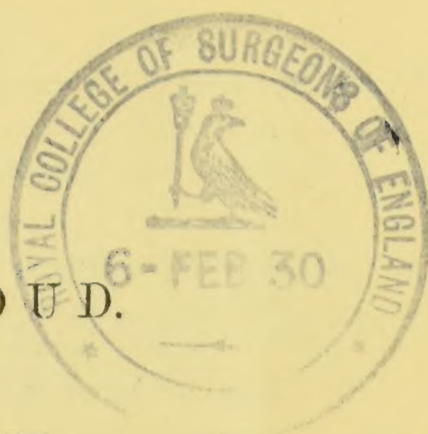
DERDE REEKS.

IX.



UTRECHT,
G. METZELAAR.
1884.

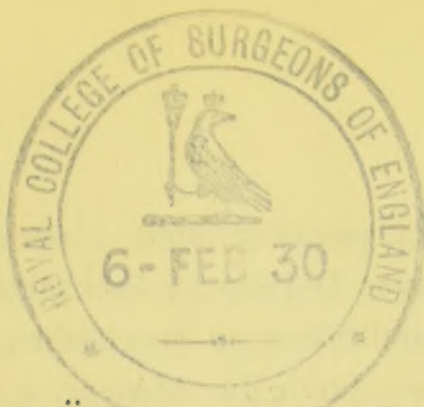
Gedrukt ter „Utrechtsche drukkerij" te Utrecht.



INHOUD.

Bladz.

—



UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE QUANTITATIVEN BEZIEHUNGEN ZWISCHEN ABSORPTION DES LICHTES UND ASSIMILATION IN PFLANZENZELLEN [1].

VON

TH. W. ENGELMANN.

Mit Tafel I.

I. Das Mikrospectralphotometer, ein Apparat zur quantitativen Mikrospectralanalyse.

Aus den mittels der Bacterienmethode an grünen, blaugrünen, gelben und rothen lebenden Pflanzenzellen von mir angestellten Versuchen [2] hatte sich ergeben, dass Lichtstrahlen im Allgemeinen um so stärker assimilatorisch wirken, je mehr sie vom Chromophyll der betreffenden Zelle absorbirt werden. Eine genaue quantitative Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Assimilation und Absorption konnte jedoch nicht ausgeführt werden, so lange es an einem Mittel fehlte, um die Grösse der Lichtabsorption in mikroskopisch kleinen Gegenständen zu messen.

Die bisherigen Mikrospectraloculare (Sorby-Browning,

---

1) Der Inhalt der folgenden Arbeit wurde in der Sitzung der k. Akademie v. wetensch. zu Amsterdam am 24. November 1883 vom Verf. vorgetragen. Ein sehr kurzer Auszug davon ist im „Proces verbaal" der genannten Sitzung abgedruckt.

2) Farbe und Assimilation. Onderz. etc. (3) VII. 1882. S. 209. Bot. Ztg. 1883. Nr. 1 u. 2.

Zeiss-Abbe u. a.) gestatten wohl Absorptionsspectra mikroskopisch kleiner Objecte zu beobachten und mit anderen Spectren unmittelbar zu vergleichen, erlauben jedoch eine Messung des durch die Absorption bedingten Lichtverlustes nicht. Höchstens eine Schätzung, bei welcher aber auch der sorgfältigste und geübteste Beobachter aus verschiedenen hier nicht näher zu besprechenden physiologischen Ursachen immer den allergröbsten Irrthümern ausgesetzt bleibt.

Diesem Mangel soll das schon am Schluss meiner oben citirten Arbeit angekündigte, inzwischen in vortrefflichster Ausführung aus der Werkstätte von C. Zeiss in Jena erhaltene *Mikrospectralphotometer* abhelfen. Dasselbe ist fast an allen grösseren und mittelgrossen Mikroskopstativen ohne Weiteres zu gebrauchen.

Es besteht aus zwei getrennten Theilen: einem *unteren*, welcher die Spaltmechanik, Vergleichsprisma und seitlichen Beleuchtungsapparat enthält, und einem *oberen*, dem eigentlichen Spectroskop.

Die Spaltmechanik im unteren Stück besteht der Hauptsache nach aus zwei durch je eine Mikrometerschraube symmetrisch beweglichen Spalthälften (s und s_1). Die Mitte des einen Halbspaltes bildet in jedem Falle die ununterbrochene Fortsetzung der Mitte des anderen. Auf der Trommel jeder Mikrometerschraube sind die Spaltweiten in Einheiten von 0,01 Mm. direct abzulesen, Mikren noch ganz sicher zu schätzen.

Unter Anwendung einer Ocularlupe wird das Bild des farbigen mikroskopischen Objectes in der Mitte von Spalt s (Objectspalt) möglichst genau an der Grenze von s_1 (dem Vergleichsspalt) eingestellt. Zum Zwecke feinerer Einstellung, sowie überhaupt kleiner gleichmässiger Verschiebungen des Objectes, ruht letzteres auf einem durch eine

Schraube horizontal beweglichen Objecttisch. Ich benutze den in Zeiss' Katalog Nr. 26, 1883, unter Nr. 51 erwähnten.

Unter den Vergleichsspalt kann ein total reflectirendes Prisma geschoben werden, dass durch ein seitlich eingeschraubtes Röhrchen von einem in allen Richtungen verstellbaren Spiegel Licht erhält und zwar von der nämlichen Quelle, welche auch das Object erleuchtet. Um eine gleichmässige, von der Stellung des Auges unabhängige Beleuchtung des Vergleichsspaltes zu erhalten, ist in der inneren Oeffnung des Röhrchens eine Sammellinse angebracht, welche von der äusseren, zum Einsetzen von Diaphragmen u. s. w. eingerichteten Oeffnung desselben Röhrchens ein virtuelles Bild im Mikroskoptubus entwirft, annähernd an derselben Stelle, an welcher sich die Oeffnung des Objectivs befindet, durch welches der Objectspalt s sein Licht erhält.

Wird vom Vergleichsprisma Gebrauch gemacht, so hat man jedesmal mittels des Spectroskops zu prüfen, ob das Licht, welches den Objectspalt *ohne* Einschaltung des Objectes und das, welches den Vergleichsspalt erleuchtet, genau die gleiche Zusammensetzung haben. Da dies im Allgemeinen, auch bei Benutzung der gleichen Lichtquelle, nicht der Fall ist, müssen die hieraus resultirenden Störungen eliminirt werden, was auf zwei principiell verschiedenen, hier nicht weiter zu erörternden Wegen in genügender Weise geschehen kann.

In vielen Fällen thut man besser, das Vergleichsprisma wegzulassen, wo dann der Vergleichsspalt durch das unmittelbar neben dem Object vorbeigehende, vom Spiegel des Mikroskops kommende Licht erhellt wird. Hier sind Unterschiede in Qualität und Intensität der Beleuchtung von s und s_1 noch leichter zu vermeiden, bezüglich zu beseitigen.

Nach richtiger Einstellung des Objectes in Spalt s

wird die Lupe herausgehoben und der oberee Theil des Apparates, das eigentliche Spectroskop, auf den unteren Theil gesetzt, auf dem er mittels eines einfachen Mechanismus in stets gleicher Lage fixirt wird. Erschütterungen werden hierbei in viel vollkommenerer Weise vermieden als bei den bisherigen Spectralocularen.

Der obere Theil des Apparates enthält nun zunächst eine Collimatorröhre mit Linse, die das von den Spalten kommende Licht auf ein Prismensystem wirft. Dies zerstreut und lenkt die Strahlen in ein um 60° gegen die optische Axe des Mikroskops geneigtes Beobachtungsröhrchen, in dessen oberem Theil dieselben mittels eines schwachen Objectivs zu zwei reellen Spectren (S und S_1) vereinigt werden. Man beobachtet beide durch eine Ocularlupe, wo sie dann, auf 250 Mm. vom Auge projicirt, von Fraunhofer's Streif *a* bis *G* eine Länge von 185 Mm. haben, also beiläufig unter einem etwa vier Mal grösseren Gesichtswinkel erscheinen als die Spectren im Zeiss-Abbe'schen Spectralocular. Die Lichtstärke ist so gross, dass in vielen Fällen auch bei Anwendung von Gaslicht die stärksten Oelimmersionslinsen mit Vortheil zur Verwendung kommen können. Betreffs der Schärfe der Spectra nur die Bemerkung, dass im Spectrum von Sonnenlicht, das durch zwei Mattglasscheiben gegangen, bei einer Spaltweite von von 25 μ und darunter, *D* sehr deutlich und scharf doppelt erscheint, und zwar die stärker brechbare der beiden Linien erheblich dunkler und breiter als die andere, etwa so wie im dem von G. Müller in Bd. II. Nr. 6 der Publicationen des astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam auf Taf. 33 abgebildeten Sonnenspectrnm. Die Zahl der unterscheidbaren Fraunhofer'schen Linien steht bei Anwendung directen oder wenig gedämpften Sonnenlichtes der auf dieser Tafel abgebildeten nur sehr wenig nach.

Das Gesichtsfeld kann durch zwei Schieberpaare, die mittels sehr leicht gehender Schrauben senkrecht zu einander in der Focalebene der Ocularlupe beweglich sind, beliebig beschränkt werden. Das eine Paar gestattet jede beliebige Gruppe von Wellenlängen von S und S_1 für sich wahrzunehmen und auf ihre Helligkeit zu vergleichen, das andere dient zur Abblendung des überflüssigen seitlichen Lichtes, beides unumgängliche Erfordernisse für genaue Messungen mit unserem Instrument.

Die Wellenlängen werden auf einer in bekannter Weise ins Gesichtsfeld zu projicirenden Angström'schen Skala direct abgelesen. Für richtige Einstellung in Bezug aufs Spectrum, sowie für schnellen Wechsel zwischen Erleuchtung und Verdunkelung der Skala sind besondere handliche Einrichtungen getroffen.

Die Bestimmung der Lichtabsorption geschieht nun wie bei vielen anderen Spectrophotometern in der Weise, dass man die Helligkeit beider Spectren an den zu vergleichenden Stellen gleich macht, was im vorliegenden Falle durch Aenderung der Weite des Vergleichspaltes s_1 mittels der zugehörigen Mikrometerschraube bewirkt wird. Da die Lichtintensitäten bei der leicht herzustellenden gleichmässigen Beleuchtung der Spalte ohne merklichen Fehler den Spaltweiten direct proportional gesetzt werden dürfen, findet man leicht aus den abgelesenen Spaltweiten die relative Intensität $\frac{J_1}{J}$ des durchgelassenen Lichtes und damit die relative Menge des absorbirten Lichtes, d. i. die Absorptionsgrösse $n = \frac{J-J_1}{J}$, in der Voraussetzung, dass der Lichtverlust $J-J_1$ nur auf Absorption beruht.

Letztere Voraussetzung ist selbstverständlich nicht streng

richtig. Ein Theil des vom Spiegel her das Object treffenden Lichtes wird reflectirt, in unserem Falle, bei Pflanzenzellen, an den Grenzen von Wasser und Zellmembran, Zellwand und Protoplasma u. s. w. Die Grösse dieses Verlustes ist an verschiedenen Stellen derselben Zelle verschieden, an den Rändern z. B. im Allgemeinen ein Maximum, in jedem Falle von Form, Grösse, Lagerung, Structur u. s. w. abhängig. — Die hieraus entspringenden Schwierigkeiten scheinen jedoch grösser als sie wirklich sind. Theils nämlich ist die Grösse des erwähnten Verlustes directer Messung zugänglich (indem man z. B. den totalen Lichtverlust $J—J_1$ an übrigens gleichen chromophyllfreien und chromophyllhaltigen Partien der nämlichen Zelle bestimmt, was u. a. bei *Callithamnion*, *Spirogyra*, *Zygnema cruciatum*, *Mesocarpus*, *Sphaeroplea annularia* sehr leicht ausführbar); theils lässt sich die Schwierigkeit durch passende Wahl und genügende Steigerung der Zahl der zu prüfenden Objecte und Versuchsstellen im Wesentlichen vermeiden bezüglich aufheben. Auch ist es in dieser Beziehung von einiger Bedeutung, dass der durch Reflexion bedingte Verlust meist alle Strahlengattungen gleichmässig betrifft. Ich kann ihn für alle meine Beobachtungen im Mittel nur auf einige Procente des Werthes von J veranschlagen, wodurch keine irgend erhebliche Aenderung der Resultate herbeigeführt wird.

Schwierigkeiten anderer Art erwachsen für die Bestimmung von n in manchen Fällen aus den selbständigen oder durchs Licht hervorgerufenen Ortsveränderungen der Zellen (Naviculaceen, Oscillarineen), in anderen aus (namentlich photokinetischen) Bewegungen der Chromophyllkörper innerhalb der Zelle. Im ersten Falle bedarf es vieler Geduld und oft langen Suchens bei der Wahl

der Objecte, im zweiten muss man die Zelle eine längere Zeit vor Anfang der Messungen demselben Licht aussetzen, in welchem sie sich nachher bei Bestimmung von *n* befindet, damit die Chromophyllkörper Zeit haben, die diesem Beleuchtungsgrad entsprechende Lage und Form anzunehmen. Hierzu ist dann eine constante Lichtquelle Erforderniss. Da es für die Messung von *n* nicht auf die Art der Lichtquelle ankommt, sofern dieselbe nur ein continuirliches Spectrum von genügender Ausdehnung und Helligkeit liefert, benutzte ich stets den früher erwähnten grossen Doppelrundbrenner von Sugg in Westminster, dessen Licht eventuell noch durch eine grosse Sammellinse concentrirt wurde. Die Constanz der Flammenhöhe wurde mit Hilfe eines Gasdruckregulators von Elster in Berlin in sehr vollkommener Weise erreicht.

Alle Beobachtungen wurden in einem ziemlich stark verdunkelten Zimmer vorgenommen. Die vertical verstellbare Lampe stand in einem mit auf- und zuschiebbaren seitlichen Oeffnungen, oben mit Schornstein versehenen schwarzen Blechcylinder, das Mikroskop in meinem Dunkelkasten, der zu dem vorliegenden Zwecke noch mit einigen Hilfsvorrichtungen versehen war.

Unter diesen Bedingungen, wie selbstverständlich unter gleichzeitiger Beobachtung der für Mikrospectralversuche und für spectrophotometrische Bestimmungen überhaupt gültigen Vorschriften (worüber in Vierordt's bekannten Schriften nahezu alles Wesentliche bereits gesagt ist), waren in der Regel je drei Messungen für einen hinreichend genauen Mittelwerth genug. Im äussersten Roth jenseits *a* und im Violett etwa von *G* an waren genaue Bestimmungen wegen zu geringer Lichtstärke der Spectra in der Regel nicht wohl mehr möglich.

Zum Beleg für die erreichbare Genauigkeit theile ich

einen Versuch mit. In demselben geben die Ziffern die absoluten Spaltweiten (w_1) von s_1 in $\frac{1}{100}$ Mm. an, bei welchen an den darüber angegebenen Stellen des Spectrums in S und S_1 gleiche Helligkeit bestand.

23 September 1883. *Bulbochaete.* Beobachtet mit Objectiv C von Zeiss. — Weite w des Objectspaltes s 0,15 Mm — Vergleichsprisma.

λ (in $\frac{\mu}{1000}$) =	680	622	589	558	522	506	486	431
	$B\frac{1}{4}C$	$C\frac{1}{2}D$	D	$D\frac{1}{2}E$	$E\frac{1}{2}b$	$E\frac{1}{2}F$	F	G
w_1 =	3,2	7,3	10,0	14,2	12,8	8,1	3,9	2,4
	4,0	8,0	10,4	13,6	12,3	8,3	3,4	2,2
	3,2	8,1	10,2	13,0	11,9	7,5	4,0	2,6
Mittel	3,47	7,8	10,2	13,6	12,3	8,0	3,8	2,4

Nach Entfernung der Zelle aus dem Objectspalt betrug der Werth von w_1, wofür überall gleiche Helligkeit auf beiden Seiten bestand, w_1^0, im Mittel aus sechs Versuchen 31,4.

Geringer als im vorliegenden Falle sind die Abweichungen vom Mittel auch nicht, wenn man statt lebender Chromophyllkörper unveränderliche Farbstoffe, sei es in Lösung, sei es in fester Form untersucht. Auch hierfür je ein Beispiel.

Kalibichromat in einprocentiger wässeriger Lösung und 1 Ctm. dicker Schicht in planparallelem Glasgefäss. $w =$ 0,20 Mm. Vergleichsprisma.

λ =	670	589	558	540	522	486	431
	$B\frac{1}{2}C$	D	$D\frac{1}{2}E$	$D\frac{3}{4}E$	$E\frac{1}{2}b$	F	G
w_1 =	18,8	16,6	15,2	11,2	5,0	0	0
	18,0	17,6	15,0	10,2	4,9	0	0
	18,5	18,5	15,6	9,4	4,9	0	0
Mittel	18,4	17,6	15,3	10,3	4,9	0	0

w_1^0 (Gefäss mit Aq. destill. gefüllt) = 18,7 (Mittel aus 11 Beobachtungen).

Hexagonales Plättchen von *Eisenglanz* ($Fe_2\ O_3$), eingeschlossen in Oligoklas von Tvedestrand in Norwegen. $w = 20$. — Kein Vergleichsprisma.

λ =	700	650	600	550	500	450
w_1 =	18,0	18,6	16,4	13,9	12,8	8,3
	18,6	19,0	16,0	13,7	12,2	9,8
Mittel	18,3	18,8	16,2	13,8	12,5	9,0

$w_1^0 = 20$ (Mittel aus vier Messungen).

Die Versuche mögen zugleich Belege für die allgemeine Verwendbarkeit unserer Methode sein. Alle Gebiete mikroskopischer Forschung, im organischen wie im anorganischen Bereich, werden aus ihr Nutzen ziehen können, wie im Einzelnen ja keiner Ausführung bedarf. An dieser Stelle sollen jetzt nur die Resultate mitgetheilt werden, welche ich bezüglich der Lichtabsorption in lebenden Pflanzenzellen erhielt, und auch diese nur insoweit sie für den im Eingang beschriebenen Zweck in Betracht kommen.

II. Experimentelle Grundlagen zur Ermittelung der quantitativen Beziehungen zwischen Assimilationsenergie und Absorptionsgrösse.

Zur Feststellung dieser Beziehungen musste zunächst der Werth von n bei möglichst vielen verschiedenfarbigen Zellen an einer genügenden Zahl von Oertern des Spectrums gemessen werden und zwar an denselben Oertern und bei den nämlichen Zellenarten, für welche auch der Werth von A nach der Bacterienmethode ermittelt wurde.

Von vornherein hätte es sicherer und kürzer erscheinen können, A und n bei einer geringeren Zahl, aber stets bei

den *nämlichen* Zellenindividuen zu messen. In Wirklichkeit bietet dieser Weg jedoch grössere Schwierigkeiten, aus folgenden Gründen. Zur genauen Bestimmung von A nach der Methode der successiven Beobachtung [1]) muss im Allgemeinen ein viel grösserer Theil des farbigen Zellinhaltes (wo nicht die ganze Zelle oder gar mehrere, wie bei Oscillarineen) benutzt werden als zur genauen Ermittelung von n. Im ersteren Falle erhält man die Mittelwerthe der O-Ausscheidung aus *allen* vom Licht getroffenen Chromatophortheilchen, im letzteren nur die Mittelwerthe von n für eine relativ beschränkte Anzahl. Die letzteren Werthe nun müssen aus im vorigen Abschnitt angegebenen Gründen je nach dem Ort der Zelle der in den Objectspalt des Photometers eingestellt wird, sehr verschieden ausfallen. Man würde also, um die hieraus entspringenden Fehler unschädlich zu machen, im Allgemeinen die n-Werthe auch bei der nämlichen Zelle jedes Mal an sehr verschiedenen Orten bestimmen müssen. Dies hat nun deswegen seine Schwierigkeit, weil die Zellen in der sehr langen hierzu erforderlichen Zeit unter der anhaltenden sehr starken Beleuchtung und den sonstigen, doch nicht ganz normalen Bedingungen, leicht tief eingreifende Veränderungen erleiden: Anhäufung von Stärkemehl, Aenderungen der Farbe, der Durchscheinendheit in Folge beginnenden Absterbens u. s. w. Auch ermüdet der Beobachter bei mehrere Stunden lang ohne Unterbrechung fortgesetzten photometrischen Vergleichungen leicht zu früh.

Obschon ich nun eine Reihe von Parallelbestimmungen

---

1) Ueber Sauerstoffausscheidung von Pflanzenzellen im Mikrospectrum. Onderz. etc. (3). VII. S. 194. — Bot. Ztg. 1882. Nr. 26.

von A und n an der gleichen Zelle angeführt habe (u. a. bei *Mesocarpus*, *Bulbochaete*, *Vaucheria*, *Closterium*, *Euglena*) und diese im Ganzen auch ziemlich befriedigend ausfielen, so zog ich doch aus den angegebenen Gründen vor, A und n in der Regel unabhängig von einander, aber bei möglichst vielen und dabei möglichst gleichen Individuen der nämlichen Arten zu messen. Bei genügender Zahl der Objecte und der Einzelmessungen mussten dann vergleichbare Mittelwerthe erhalten werden.

Rücksichtlich A verfügte ich bereits von früher her [1]) über eine ziemlich grosse Zahl von Messungen; die seitdem noch einen beträglichen Zuwachs erhalten haben. Leider mussten wegen der grossen Seltenheit völlig reinen Himmels in Holland die meisten Bestimmungen von A auch jetzt wieder bei Gaslicht vorgenommen werden; für rothe Zellen (*Callithamnion* u dergl.) fehlen mir directe Messungen im Sonnenlicht überhaupt noch. Immerhin schienen die mit beiderlei Lichtarten angestellten Versuche genügend zahlreich, um einen festen Ausgangspunkt zu bilden.

Die Werthe von n wurden im Laufe des letzten Sommers und Herbstes gemessen bei *Cladophora*, *Bulbochaete*, *Oedogonium*, *Spirogyra*, *Mesocarpus*, *Vaucheria*, *Closterium*, *Euglena* — *Melosira*, *Navicula*, *Pinnularia*, *Gomphonema* — *Callithamnion* und *Ceramium* — *Oscillaria*.

Die Wahl der Stellen des Spectrums hätte zum Theil zweckmässiger sein können. Namentlich wären für die Bestimmung von A solche Stellen zu vermeiden gewesen, an denen sich n mit der Wellenlänge sehr rasch

---

1) Bot. Ztg. 1883, Nr. 1. — Onderzoekingen etc. (3) VII. 1882. p. 217.

ändert. Inzwischen wäre hierzu bereits die genaue Kenntniss von n nöthig gewesen, die eben bisher fehlte.

Im Folgenden habe ich die Werthe von A sämmtlich auf das Normalspectrum und zwar des Sonnenlichtes reducirt. Letzteres war dadurch ermöglicht, dass das Verhältniss γ der relativen Assimilationsenergie des Sonnenlichtes (A^s) zu der bei allen meinen Versuchen mit Gaslicht benutzten Flamme des mehr erwähnten Sugg'schen Brenners (A^g) sich aus den Bacterienversuchen berechnen liess [1]). Es ergeben sich für $\gamma = \frac{A^g}{A^s}$ im Mittel aus allen bis November 1883 angestellten Versuchen (γ bei $B\frac{1}{4}C$ d. h. bei $\lambda = 680$ gleich 1 gesetzt)[2] folgende Werthe:

für λ =	718	680	622	589	522	468	431
	(a)	($B\frac{1}{4}C$)	($C\frac{1}{2}D$)	(D)	(Eb)	(F)	(G)
γ = ca.	1,400	1,000	0,784	0,651	0,411	0,254	0,125

(Der Werth bei Eb ist wahrscheinlich 2—3 Procent zu hoch.)

D.e Tabellen Nr. 1—4, denen die graphischen Darstellungen in Fig. 1—4 auf Taf. II entsprechen, enthalten nun die berechneten Mittelwerthe für A und n, nach allen überhaupt von mir an grünen, braunen, blaugrünen und rothen Zellen angestellten Versuchen, ohne irgend welche Correcturen. Nur habe ich in Tab. I, bezüglich Fig. I, die auf *Mesocarpus* bezüglichen Versuche ausgeschlossen, weil bei diesen Zellen die Chlorophyllplatte fast ausnahmslos mit den bekannten stark lichtbrechenden

1) Farbe und Assimilation. Onderzoek. etc. (3) VII. 1882. S. 218.

2) In meinen früheren Publicationen habe ich hierfür gewöhnlich $B\frac{1}{2}C$ gesetzt. Dies ist jedoch insofern nicht genau, als stets die Mitte des Absorptionsbandes I bei lebenden Zellen gemeint war, die etwa auf $\lambda = 680$ also, auf ungefähr $B\frac{1}{4}C$ fällt.

Kügelchen so dicht besetzt, der Lichtverlust durch Reflexion demnach so gross war, dass eine genaue Ermittelung von *n* fast ausichtslos erschien [1]).

Tabelle I. Grüne Zellen.

λ	A^s	Zahl der Objecte.	Zahl der Messungen.	n.	Zahl der Objecte.	Zahl der Messungen.
718	12,2	30	84	23,7	28	99
680	***100,0***	92	256	***81,2***	32	122
622	80,8	26	57	52,6	19	69
589	60,5	58	183	47,5	28	94
558	47,4	24	62	40,2	25	77
522	39,3	62	160	51,0	28	91
506	59,7	15	28	63,2	13	38
486	***66,1***	51	106	83,4	32	117
468	59,3	14	23	86,3	16	56
431	45,9	9	13	90,7	22	59

Tabelle II. Gelbbraune Zellen.

λ	A^s	Zahl der Objecte.	Zahl der Messungen.	n.	Zahl der Objecte.	Zahl der Messungen.
718	12,3	19	60	15,8	17	49
680	***100,0***	89	380	***63,1***	18	51
622	81,5	28	106	31,0	15	41
589	73,0	60	224	30,6	18	46
558	92,5	30	141	40,4	17	46
522	***94,9***	43	132	55,3	18	47
486	79,3	42	142	67,4	17	41
468	69,8	3	15	67,0	9	26
431	57,0	5	15	81,5	10	30

Tabelle III. Blaugrüne Zellen.

λ	A^s	Zahl der Objecte.	Zahl der Messungen.	n.	Zahl der Objecte.	Zahl der Messungen.
718	12,0	6	17	25,0	3	12
680	80,7	30	142	52,3	5	19
622	***100,0***	11	37	***55,9***	5	18
589	92,3	26	131	51,1	4	13
558	52,4	8	21	41,3	4	13
522	46,9	20	73	40,0	4	13
486	37,4	12	26	49,4	4	12
431	—	—	—	59,8	4	12

---

1) Bei *F* gaben alle *Mesocarpus*zellen beiläufig sehr hohe *A*-Werthe, durchschnittlich höhere als bei $B\frac{1}{4}C$

Tabelle IV. Rothe Zellen.

λ	A^s	Zahl der Objecte.	Zahl der Messungen.	$n.$	Zahl der Objecte.	Zahl der Messungen.
718	2,3	3	10	12,7	5	15
680	23,9	23	93	48,1	5	18
622	29,1	10	36	—	—	—
589	58,2	14	50	44,6	5	17
572	*100,0*	15	61	*73,0*	5	19
522	68,9	11	35	68,1	5	17
486	42,8	11	36	64,2	5	15
431	18,2	4	6	81,5	4	10

In den nach den vorstehenden Tabellen gezeichneten Figuren 1—4 sind die A-Werthe jedesmal durch kräftige, die n-Werthe durch schwächere Linien verbunden. Natürlich entsprechen die Ordinaten nicht an jeder Stelle den wahren Werthen von A und n, sondern nur an den Punkten, wo Messungen stattfanden. In Wirklichkeit ist der Verlauf der Curven noch verwickelter, zeigen sich noch kleine Hebungen und Senkungen auf den hier gerade ausgezogenen Linien. Offenbar aber kommt es ja für unseren Zweck gar nicht darauf an, den vollständigen Verlauf der Curven genau zu kennen. Es genügt, A und n an einer nicht zu kleinen Zahl, womöglich charakteristischer Punkte des Spectrums zu messen, um einen festen Ausgangspunkt für die Ermittelung der quantitativen Beziehungen zwischen beiden Grössen zu haben. Von den mancherlei Folgerungen, die sich aus unseren Tabellen und Curven ergeben, sollen denn auch wiederum nur diejenigen hervorgehoben werden, welche für diese unsere Hauptaufgabe von Bedeutung sind.

Hier zeigt sich nun zunächst, wie zu erwarten, dass für grünes, braunes, blaugrünes und rothes Chromophyll n jedesmal eine andere Function der Wellenlänge ist. Bei

etwas näherer Betrachtung ergibt sich aber zugleich eine sehr belangreiche Uebereinstimmung zwischen allen vier Fällen, und zwar in folgenden Punkten.

Das absolute Min'mum der Absorption liegt im äussersten Roth [1]).

Zwischen B *und* E, *höchstens* F, *liegen ein oder mehrere Maxima und Minima.*

Weiterhin wächst n *immerfort, um im stärkst brechbaren Theile des sichtbaren Spectrums die absolut höchsten Werthe zu erreichen.*

Verglichen mit A *ändert sich* n *vom äussersten Roth bis ins Grün in allen Fällen im gleichen Sinne wie* A.

Im stärker brechbaren Theil sinken die Werthe von A *trotz anhaltend steigender Absorption.*

Es besteht demnach zwischen *A* und *n*, obwohl keineswegs eine directe Proportionalität, so doch eine offenbar ziemlich einfache und constante Beziehung. Mir schien, dass die Form derselben sich vielleicht ergeben würde, wenn die nach allen bisherigen Versuchen bestehende Ungleichheit in der Vertheilung der actuellen Energie des Lichtes im Spectrum in Rechnung gebracht würde. Selbstverständlich muss ja *A* von der relativen Energie des Lichtes an der entsprechenden Stelle des Spectrums abhängen und zwar innerhalb gewisser Grenzen und Bedingungen dieser proportional sein. Die auffälligste Dis-

---

1) Beiläufig darf man hiernach erwarten, dass die jenseits des rothen Endes folgenden unsichtbaren Wärmestrahlen von *allen* Chromophyllen nahezu ungeschwächt durchgelassen werden, was für die Wärmeökonomie der Pflanzen überhaupt von Bedeutung sein muss, hier aber nicht weiter verfolgt werden kann. Das Problem gehört zu den verwickelsten, was nach den meisten der bis jetzt hierüber vorliegenden Arbeiten nicht so scheinen könnte.

proportionalität zwischen A und n, das Sinken von A nach dem violetten Ende hin, trotz erheblichen Steigens von n, schien aus dem nach allen Angaben hier ziemlich schnell erfolgenden Sinken der Energie des Sonnenlichtes erklärlich zu sein. Eine nähere Ueberlegung, deren Grundzüge schon am Schluss meiner früheren Abhandlung [1]) mitgetheilt sind, leitete nun auf die im Folgenden zu behandelnde Lösung und zwar indem sie zu einer neuen Methode führte, die Vertheilung der Energie im Spectrum zu bestimmen.

III. Bestimmung der Vertheilung der Energie im Spectrum von Sonnenlicht mittels Bacterienmethode und quantitativer Mikrospectralanalyse.

Die absolute Energiemenge, die erfordert wird, um so viel Sauerstoff frei zu machen, dass die charakteristische Bacterienreaction eintritt, ist in jeder gehörig ausgeführten Versuchsreihe eine von der Wellenlänge unabhängige Constante (c). Den Beweis hierfür liefert die Thatsache, dass während der Dauer einer solchen Versuchsreihe die zur Reaction erforderliche Spaltweite für jeden beliebigen Ort des Spectrums constant bleibt [2]). Ist a diese Spaltweite, so hat man demnach

$$c = aE \quad . \; . \; . \; . \; . \quad 1)$$

worin E jedesmal die actuelle Energie des Lichtes an der a entsprechenden Stelle des Spectrums.

Macht man nun die Voraussetzung, dass in den nach der Bacterienmethode im Mikrospectrum von uns angestellten Versuchen der absorbirte Theil n der Energie

---

1) Farbe und Assimilation a. a. O.

2) S. u. a. das Beispiel (*Melosira*), welches in „Farbe und Assimilation" (Bot. Ztg. 1883, Anmerkung S. 10) mitgetheilt ist.

E' des auf die Zelle fallenden Lichtes ausschliesslich [1]) zu assimilatorischer Arbeit verbraucht wurde, so ist nE' für jede Versuchsreihe gleichfalls eine von der Wellenlänge unabhängige Constante:

$$c' = nE' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

Durch Multiplication von 1) und 2) erhält man

$$EE' = \frac{cc'}{an}$$

wofür, da es nur auf relative, nicht auf absolute Werthe ankommt, gesetzt werden kann

$$E^2 = \frac{1}{an} .$$

Da aber, nach früher [2]) gegebener Definition, $\frac{1}{a} = A$, so ergiebt sich

$$E = \sqrt{\frac{A}{n}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3)$$

Hiernach nun kann man E als Function der Wellenlänge λ berechnen. Sollte es sich dabei herausstellen, dass die bei den *verschiedenfarbigen Chromophyllen* gefundenen Werthe von A und n alle zur *nämlichen Form dieser Function* führen, dann würde, da die Werthe jedes einzelnen Versuchsreihenpaares ganz unabhängig von den für die anderen Chromophylle gefundenen sind, ein ganz *objectiver* Beweis geliefert sein für die Richtigkeit der gefundenen Beziehung $E = f(\lambda)$ und damit auch für die Richtigkeit der oben bezüglich des Verbandes zwischen

---

1) — oder zu einem constanten Bruchtheil. Letzteres ist aber wegen der zahllosen Unterschiede der verschiedenfarbigen assimilirenden Chromophylle rücksichtlich des Verhaltens gegen Licht verschiedener Schwingungszahlen im höchsten Grade unwahrscheinlich.

2) Ueber Sauerstoffausscheidung von Pflanzenzellen im Mikrospectrum. Bot. Ztg. 1882. Nr. 26. Onderzoek. etc. (3) VII. p. 191.

Absorption, assimilatorischer Wirkung und Energie des Lichtes gemachten Voraussetzung.

Führt man nun die Rechnung mit Zugrundelegung der in den Tabellen I—IV zusammengestellten Mittelwerthe von A und n aus, so ergibt sich die relative Energie des Sonnenlichtes wie folgt:

Tabelle V.

E im Mittel aus den Versuchen bei λ =	a 718	$B\frac{1}{4}C$ 680	$C\frac{1}{2}D$ 622	D 589	$E\frac{1}{2}b$ 522	F 468	4
bei grünen Zellen	57,8	89,5	100	91,9	70,8	71,8	5
bei braunen Zellen	54,4	77,8	100	95,3	80,4	66,9	4
bei blaugrünen Zellen . .	51,6	92,4	99,5	100	82,7	64,7	6

In der That also erhält man, wie besonders anschaulich ein Blick auf die graphische Darstellung von Tabelle V in Fig. 5 zeigt, aus den Versuchen an grünen, braunen und blauen Zellen jedesmal ungefähr die gleiche Curve für die Vertheilung der Energie im Sonnenspectrum. Auch nach den wenig zahlreichen und in mehrfacher Hinsicht noch mangelhaften Versuchen an rothen Zellen ergibt sich dieselbe in der Hauptsache als die gleiche, indem auch hier die Energie ihr Maximum ganz nahe bei D erreicht, und von da nach beiden Seiten hin ununterbrochen, anfangs langsam, später schneller sinkt.

Es kann nur willkommen sein, dass dieser Verlauf im Wesentlichen derselbe ist, den schon die von Lamansky unter Helmholtz' Leitung mit der linearen Thermosäule angestellten Versuche und neuerdings die, wie es scheint, nicht minder zuverlässigen bolometrischen Messungen Langley's kennen gelehrt haben.

Eine vollkommene Uebereinstimmung darf selbstverständlich nicht erwartet werden. Doch sind die Abwei-

chungen der nach unserer physiologischen Methode gefundenen von den auf rein physikalischen Wegen ermittelten Werthen nicht oder nicht nennenswerth grösser als die zwischen und innerhalb der letzteren selbst vorkommenden Differenzen.

Die einzige grössere Differenz zeigt sich im äussersten Roth, wo die Bacterienmethode sehr merklich geringere Werthe für E gibt. Hier ist aber, wegen der geringen Lichtstärke und des (namentlich im prismatischen Spectrum) rapiden Steigens von A und n zwischen Fraunhofer's Streif a und B, eine genaue Messung von A und n so schwierig, dass ich die verhältnissmässig sehr grosse Uebereinstimmung der drei in Tabelle V unter a angegebenen Werthe mit Rücksicht auf die verhältnissmässig kleine Zahl der zu Grunde liegenden Messungen eher für einen Zufall halten möchte. Uebrigens heben sich diese a-Werthe einigermaassen, wenn man den Lichtverlust durch Reflexion u. s. w. an der Zelle in Rechnung bringt.

Zur besseren Vergleichung der auf den verschiedenen Wegen gefundenen Werthe stelle ich dieselben in Tabelle VI (zum Theil graphisch in Fig. 6) zusammen.

Lm bezeichnet die Werthe, welche Lamansky [1]) im Sonnenspectrum eines Flintglasprismas erhielt, nach der Lundquist'schen [2]) Reduction auf das normale Sonnenspectrum.

Ln die von Langley mit der „aktinischen Wage"

1) S. Lamansky, Untersuchungen über das Wärmespectrum des Sonnen- und Kalklichtes. Pogg. Ann. CXLVI. 1872. Taf. V. Fig. 2.

2) G. Lundquist, Ueber die Wärmevertheilung im Normalspectrum. Ebenda. CLV. 1875. S. 153 ff.

im Diffractionsspectrum der Sonne ermittelten Werthe und zwar I (Fig. 6 *Ln*) mit Zugrundelegung der 1881 in den Annal. de chimie et de physique (5) XXV. p. 215 mitgetheilten Tabelle, II nach der Curve *IIII* in des Autors Appendix zu C. A. Young, the Sun. London 1882. p. 307. Fig. 82.

En I gibt die Mittel der aus den Versuchen an grünen, braunen und blaugrünen Zellen berechneten, grossentheils in Tabelle V (bez. Fig. 5) zusammengestellten Werthe.

En II (Fig. 6, *En*) die Mittel, berechnet aus *allen* überhaupt bis jetzt (Anfang November 1883) von mir vorgenommenen Bestimmungen von *A* und *n*, also mit Einschluss der Versuche an rothen Zellen und an *Mesocarpus*.

Tabelle VI.

Vertheilung der Energie im Normalspectrum des Sonnenlichtes.

λ =		680	622	600	589	573	558	522	486	431
Lm		88,0	99,0	100,0	99,5	98	96,5	90,0	77,0	66,0
Ln	I	89,5	96,5	98,0	99,5	100,0	96,0	89,0	78,0	48,0
	II	86,0	98,5	100,0	99,0	98,5	97,5	92,0	73,0	47,5
En	I	86,5	100,0	97,5	96,0	93,0	90,5	78,0	68,0	55,5
	II	83,0	97,5	99,5	100,0	97,5	95,0	84,0	75,0	54,0

Wie für das Sonnenspectrum liess sich die Vertheilung der Energie auch für das Spectrum der Flamme des von mir benutzten Sugg'schen Gasbrenners berechnen. Die Resultate stimmten wiederum ganz gut mit den auf rein physikalischen Wegen ermittelten überein, doch — schon wegen der erheblichen Verschiedenheit der von den verschiedenen Forschern benutzten Gasflammenspectren — nicht in gleich hohem Grade wie für Sonnenlicht.

Uebrigens soll unsere Methode keineswegs als ein bequemes Mittel zur Bestimmung der Energievertheilung in Spectren empfohlen sein. Durch die grössere Complicirtheit der Bedingungen, die daraus nothwendig entspringende grössere Zahl der Fehlerquellen, durch die eigenthümliche Technik, namentlich der Bacterienversuche, welche eine ziemliche Uebung in mikrobiologischem Experimentiren voraussetzt, steht sie den zu gleichem Zwecke gebräuchlichen physikalischen Methoden nach.

Ja selbst der grosse principielle Vorsprung, den sie vor diesen hat, der Umstand nämlich, dass sie durch die *Uebereinstimmung* der bei Zellen *verschiedener* Farbe erhaltenen Resultate einen ganz *objectiven* Beweis ihrer Richtigkeit liefern kann, darf nicht als ein ihr eigenthümlicher Vorzug betrachtet werden. Denn man wird wohl bereits bemerkt haben, dass sie nur einen speciellen Fall einer (freilich so viel mir bekannt, bisher nirgends erwähnten) allgemeinen Methode darstellt, welche nicht nothwendig der Bacterienversuche bedarf, um ihr Ziel zu erreichen. Die verschiedenfarbigen Objecte, an welchen die zur Bestimmung von E nach der Gleichung $E = \sqrt{\frac{A}{n}}$ erforderlichen Messungen ausgeführt werden, brauchen nämlich a priori durchaus nicht lebende Zellen oder überhaupt organische Körper zu sein. Es genügt, dass sie möglichst verschieden gefärbt sind, eine Bestimmung der Absorptionsgrösse gestatten und zugleich unter dem Einfluss des Lichtes eine der absorbirten Energiemenge proportionale, messbare Veränderung (Erwärmung z. B.) erleiden. Mancherlei Verfahren sind hier denkbar. Es möchte wohl der Mühe lohnen, das zuverlässigste und bequemste herauszufinden.

IV. Ergebnisse in Bezug auf die quantitativen Beziehungen zwischen Absorption des Lichtes und Assimilation.

Durch die Uebereinstimmung der vorstehenden auf die Vertheilung der Energie im Spectrum bezüglichen Ergebnisse ist die Richtigkeit der von uns zur Berechnung dieser Vertheilung aufgestellten Gleichung $E = \sqrt{\frac{A}{n}}$ erwiesen und damit zugleich die Voraussetzung im Allgemeinen bestätigt, dass bei Anwendung der Bacterienmethode die gesammte Energie des absorbirten Lichtes nur zur Leistung assimilatorischer Arbeit benutzt wird.

Die gesuchte quantitative Beziehung zwischen Absorptions- und Assimilationsgrösse, d. i. *das Verhältniss der in Form von Licht verschwindenden Energiemenge* (E_{abs}) *zu der producirten potentiellen chemischen Energie* (E_{ass}) *stellt sich demnach unter diesen Bedingungen für alle Wellenlängen und für alle Chromophylle als das nämliche und zwar als das denkbar einfachste heraus*:

$$E_{abs} = E_{ass}.$$

Wellenlänge des Lichtes und optische Beschaffenheit der assimilirenden Plasmatheilchen haben nur insofern Bedeutung als sie den Betrag der Absorptionsgrösse wesentlich mit bestimmen [1]). Die hierauf bezüglichen Fragen führen jedoch auf ein völlig neues, noch dunkles Gebiet, und bleiben deshalb unberührt.

Unsere Gleichung verdient als gesetzmässiger Ausdruck

---

1) Es sei dies betont, da J. Reinke (Berichte d. d. bot. Ges. I. S. 414) die Grösse der Assimilationsarbeit ausser von der Absorption und der Energie der Lichtstrahlen auch noch direct von der Schwingungszahl (bez. der Wellenlänge) der Strahlen abhängen lassen will.

der fundamentalsten quantitativen Beziehung zwischen Licht und Kohlenstoffassimilation in mehreren Richtungen eine eingehende Betrachtung. Doch muss ich mich auch in dieser Hinsicht hier auf blosse Andeutungen beschränken.

Zunächst sei, um etwaigen Missverständnissen vorzubeugen, nochmals ausdrücklich betont, dass der Ausdruck $E_{abs} = E_{ass}$ nur unter ganz bestimmten Versuchsbedingungen *praktische* Bestätigung finden kann, und auch unter diesen keine absolute (die ja überhaupt kein sogenanntes Naturgesetz findet), sondern nur eine annäherungsweise, welche freilich nach dem Zeugniss unserer Versuche der absoluten ziemlich nahe kommen kann.

Jene Bedingungen sind hauptsächlich folgende. Die *Lichtabsorption darf nur in den assimilirenden chromophyllhaltigen Theilchen erfolgen.* Die Objecte müssen in *adaequater Flüssigkeit* liegen, deren *Temperatur* nicht zu weit von der gewöhnlichen Vegetationstemperatur der Zellen abweichen darf. Es müssen fortwährend *allen* zur Assimilation fähigen, dem Licht ausgesetzten Chromophylltheilchen *genügende CO_2-Mengen* zur Verfügung stehen, d. h. wenigstens so grosse als unter den gegebenen Verhältnissen von ihnen zerlegt werden können. Die *Beleuchtung* endlich darf einerseits nicht so intensiv sein, dass die Grenzen des assimilatorischen Leistungsvermögens der Chromophyllkörper überschritten werden, andererseits nicht so schwach, dass nicht noch ein merklicher Theil des eindringenden Lichtes von jeder Wellenlänge wieder austrete.

Alle diese Bedingungen sind bei der Bacterienmethode im Wesentlichen erfüllbar. Je weniger ihnen genügt wird, desto mehr ändert sich, und desto verwickelter wird zugleich das Verhältniss zwischen Absorptions- und Assimi-

lationsgrösse, dergestalt, dass es bald überhaupt keinen Sinn mehr hat, nach einer gesetzlichen, d. i. allgemein giltigen quantitativen Beziehung zwischen Licht, Absorption und Assimilation zu fragen.

In diesem letzteren Falle nun verkehren mehr oder minder alle bis auf den heutigen Tag (an makroskopischen Objecten) ausgeführten Untersuchungen. Ihre Resultate gelten jedesmal nur für die besonderen, verwickelten Bedingungen, uuter denen sie erhalten wurden. Sie müssen selbst erst aus diesen und den elementaren Beziehungen erklärt werden, welche in unseren obigen Gleichungen ihren Ausdruck fanden. Dies schliesst selbstverständlich nicht aus, dass sie was ihnen an *theoretischem* Werthe abgeht, an unmittelbarer *praktischer* Bedeutung voraushaben können.

Es ist von hoher Bedeutung, dass nach der Gleichung $E_{abs} = E_{ass}$ *in allen Fällen die Ausnutzung des Lichtes im Dienste der wichtigsten Function — Neuschaffung organischer Substanz — die vollkommenste ist, welche unter den gerade gegebenen Umständen überhaupt möglich.* Von vornherein brauchte dies keineswegs so zu sein. Ein Theil der im lebenden Chromophyll absorbirten Energie konnte ja in andere Arbeitsformen verwandelt werden, z. B. in Wärme, wie dies in Lösungen todten Chlorophylls u. a. geschieht.

Hierin liegt augenscheinlich eine hohe Zweckmässigkeit, zunächst für die Pflanze, indirect für die ganze lebende Natur — ein Umstand, der in jedem Falle nur zu Gunsten der Richtigkeit unseres Gesetzes gedeutet werden kann.

In letzterem erhält schliesslich auch das Gesetz der Erhaltung der Kraft eine Bestätigung, deren es zwar heute nicht, wie vor einem Menschenalter,

bedarf [1]), die aber doch noch immer willkommen sein wird, weil sie einen der wunderbarsten Punkte im irdischen Geschehen betrifft, den Punkt nämlich, an welchem Organisches aus Anorganischem entspringt.

Wegen näherer Ausführung und Begründung der Mittheilungen, welche im vorliegenden Aufsatze, wie auch in meinen früheren auf Bacterienmethode und Assimilation bezüglichen Arbeiten [2]) enthalten sind, muss ich auf eine spätere, zusammenfassende Publication verweisen.

---

1) Vergl. Helmholtz, Ueber die Erhaltung der Kraft. Berlin 1847. S. 69. (auch Wiss. Abhandlungen S. 66.) Ueber die Wechselwirkung der Naturkräfte u. s. w. Königsberg 1854. S. 37.

2) Bot. Ztg. 1881. Nr. 28. — 1882. Nr. 20 u. 21, 29, 39. — 1883. Nr. 1 u. 2. — Pflüger's Archiv f. Physiol. Bd. XXIX. 1882, Bd. XXX u. XXII. 1883. — Onderzoek. physiol. lab. Utrecht. Derde R. VI. pag. 315. VII. pag. 110. 191. 200. 209. 234. 252. VIII. pag. 147.

DE INVLOED VAN SCHEIKUNDIGE VERBINDINGEN OP BLOEDLICHAAMPJES IN VERBAND MET HARE MOLECULAIR-GEWICHTEN.

DOOR

DR. H. J. HAMBURGER.

Tot verklaring van den Turgor, d. i. van de kracht, waarmede het celvocht der plant, water uit zijne omgeving tot zich trekt, wenschte Prof. Hugo de Vries het aandeel te kennen, dat aan de verschillende daarin opgeloste stoffen daarbij toekomt. Te dien einde trachtte hij, voor ieder van deze, coëfficienten te bepalen, die genoemde aantrekking tot water aanwijzen. Hij bezigde daartoe twee methoden [1]): de plasmolytische en die der weefselspanning. De eerste bestaat in het opzoeken der zwakste concentratiën, die in de plantencellen nog plasmolyse, d. i. scheiding van protoplasma en celwand, teweeg brengen. Die zwakste concentratiën worden nu ondersteld met gelijke kracht, water aan de levende cel te onttrekken. Hij noemt ze isotonische (van ἴσος gelijk en τόνος spanning), als gelijke spanning in de cel teweeg brengende. Worden nu die concentraties uitgedrukt als hoeveelheden moleculen in een zeker volumen vloeistof

1) Verslagen en Mededeelingen der Koninkl. Akademie van Wetenschappen. Afd. Natuurkunde, 2e Reeks, Deel XIX, pag. 321; verder Pringsheim's Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik. Bd. XIV. Heft 4.

bevat, dan leeren de proeven de aantrekking van elke stof tot water per molecule kennen.

Om bijzondere redenen [1]), stelde hij het wateraantrekkend vermogen van het molecule salpeter = 3, een cijfer, dat aan de berekening van de isotonische coëfficiënten van andere moleculen werd ten gronde gelegd [2]).

De tweede methode, die der weefselspanning, bestaande in het bepalen der concentratiën, onder welker invloed een in vier gelijke deelen gesplitste spruittop in kromming noch toe-, noch afneemt, leverde vrij overeenkomstige coëfficiënten.

Zij werden gevonden te zijn:

voor organische metaalvrije verbindingen . . .	2
voor zouten der alkali-metalen	
a. met één atoom alkali in het molecule . . .	3
b. met twee atomen „ „ „ „ . . .	4
c. met drie „ „ „ „ „ . . .	5
voor zouten der aardalkalimetalen	
a. met één atoom zuur in het molecule . . .	2
b. met twee atomen „ „ „ „ . . .	4

Waaruit hij zijne derde stelling [3]) afleidde: „Ieder zuur

1) Zie: Pringsheim's Jahrbücher, S. S. 429, 431.

2) Daar een molecule zuringzuur den isotonischen coëfficiënt 2 bezit, heeft een aequivalent zuringzuur den coëfficiënt 1. Als éénheid voor de isotonische coëfficiënten kan men dus aannemen òf een derde van de aantrekking van een molecule salpeter òf de aantrekking van een aequivalent zuringzuur tot water. De laatste éénheid heeft dit voor, dat men zuringzuur gebruikt als fundamenteele stof bij sommige titratie-methoden.

3) Verslagen en Mededeelingen der Koninklijke Akademie van Wetenschappen. Afd. Natuurkunde. 2e Reeks. Deel XIX. pag. 321.

Ook Pringsheim's Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik. Bd. XIV. Heft 4. S. 519.

„en ieder metaal heeft in alle zouten denzelfden partiëelen „isotonischen coëfficiënt; de coëfficiënt van het zout is „gelijk de som van de partiëele coëfficiënten van al zijne „deelen.”

Deze partiëele coëfficiënten zijn:

Voor ieder atoom zuur 2
„ „ „ alkalimetaal 1
„ „ „ aardalkalimetaal 0

Prof. Donders had opgemerkt, dat de concentraties der oplossingen, waarbij de bloedlichaampjes onaangetast blijven, voor sommige stoffen in gelijke richting liggen, als voor de plasmolyse in plantencellen door de Vries gevonden werd, en stelde mij daarom voor, na te gaan, of, en in hoeverre, verschillende stoffen tegenover de bloedlichaampjes met correspondeerende isotonische coëfficienten optreden. Twee methoden konden worden gevolgd: de mikroskopische en de makroskopische. De mikroskopische, aanvankelijk beproefd, beloofde, althans bij warmbloedige dieren geen scherpe uitkomsten. Betere verwachting gaf de makroskopische. Zij bestaat in toevoegen van de oplossing bij het gedefibrineerde bloed. Bij gebruik van hooger zoutgehalte zinken de bloedlichaampjes op den bodem, terwijl de bovenstaande vloeistof er bijna kleurloos uitziet, als met veel water verdund serum; bij mindere concentratiën is het bezinken onvolkomen en is de bovenstaande vloeistof rood gekleurd.

I. Invloed van zoutoplossingen op het uittreden van haemoglobine in gedefibrineerd runderbloed.

Voegt men in een reageerbuis 2 cM.^{3} gedefibrineerd runderbloed bij een ongeveer tienvoudige hoeveelheid van een oplossing van kalisalpeter van 1,04 $^0/_0$ of hooger, dan bezinken de bloedlichaampjes volkomen, terwijl een

heldere bijna kleurlooze vloeistof zich daarboven verheft. In den regel kan men drie lagen onderscheiden [1]: 1°. eene dichte onderste, waarin de meeste bloedlichaamjes voorkomen, 2°. eene van de onderste scherp afgescheiden laag met zeer weinig lichaampjes en 3°. eene bijna kleurlooze, zwak lichtgele laag, die geleidelijk in de middelste overgaat, met lichaampjes, van die der middelste laag mikroskopisch niet te onderscheiden. Langzamerhand bezinkt de middelste laag en gaat geheel in de onderste over, zoodat ten slotte slechts twee scherp begrensde overblijven.

Doet men dezelfde proef met salpeteroplossingen van 0.96 % en lager, dan ziet men, dat slechts twee lagen te onderscheiden zijn: nl. eene onderste, waarin des te minder roode bloedlichaampjes voorkomen, naarmate de zoutoplossing van geringere concentratie is, en eene bovenste, die naar dezelfde mate ook rooder is.

Niet alleen voor salpeter, maar ook voor andere zouten, werden twee concentratiegrenzen gezocht, eene, waarbij de bloedlichaampjes bezonken in een kleurloos vocht, en eene, waarbij zij een roode tint vertoonde. Steeds werden 2 $cM.^3$ bloed met 20 $cM.^3$ zoutoplossing geschud en het mengsel aan zich zelf overgelaten.

In de volgende tabel A zijn, onder I, eenige van de zouten genoemd, die door Prof. Hugo de Vries voor diens plasmolytische methode zijn gebruikt [2]. Onder II vindt men de concentraties van de zoutoplossingen, waarin de bloedlichaampjes bezinken, zonder haemoglobine aan

---

1) Zie: Donders, Holländische Beiträge zu den anatomischen und physiologischen Wissenschaften, herausgegeben von Dr. van Deen, Dr. Donders en Dr. Moleschott. B. I. S. 375. 1847.

2) Pringsheim's Jahrbücher. S. 512.

de bovenstaande vloeistof af te staan; onder III de concentraties der zoutoplossingen, waarin de bloedlichaampjes aan de bovenstaande vloeistof haemoglobine hebben afgegeven. Onder IV is het arithmetisch gemiddelde van III en IV berekend, terwijl kolom V de concentraties van de met 1 % salpeter isotonische oplossingen bevat, naar de proeven van Hugo de Vries.

Tabel A.

I	II	III	IV	V
STOFFEN.	Gehalte, waarbij de bloedlichaampjes in een kleurloos vocht bezinken.	Gehalte, waarbij de bloedlichaampjes minder volkomen bezinken en de vloeistof rood is.	Gemiddelde.	Concentraties van met 1 pCt. salpeter isotonische oplossingen (de Vries.)
Kaliumnitraat . .	1,04 pCt.	0,96 pCt.	1 pCt.	1,01 pCt.
Cloornatrium . .	0,60 „	0,56 „	0,58 „	0,585 „
Kaliumsulfaat . .	1,16 „	1,06 „	1,11 „	1,305 „
Rietsuiker . . .	6,29 „	5,63 „	5,96 „	5,13 „
Kaliumacetaat . .	1,072 „	1,003 „	1,03 „	0,98 „
Kaliumoxalaat . .	1,27 „	1,18 „	1,225 „	1,245 „
Magnesiumsulfaat . (met 7 aq.)	3,52 „	3,26 „	3,39 „	3,69 „
Magnesiumsulfaat (watervrij)	1,84 „	1,72 „	1,78 „	1,80 „
Chloorcalcium (gesmolten)	0,853 „	0,794 „	0,823 „	0,832 „

Uit de tabel blijkt, dat de cijfers onder IV en V in het algemeen op bevredigende wijze overeenstemmen, dat de oplossingen van rietsuiker een weinig hoogere concentratie ter bezinking vereischen, dan onder V is opgegeven en dat acetas kalicus en sulfas magnesiae in tegengestelden zin een geringe afwijking vertoonen.

Tabel B geeft een overzicht van ds resultaten, verkregen met eenige zouten, die Hugo de Vries niet in zijn onderzoek heeft opgenomen. De 4 eerste kolommen hebben dezelfde beteekenis als in tabel A. De 5e kolom bevat de gemiddelden der meergenoemde concentratiegrenzen, zooals de op pag. 28 aangegeven regels die vooronderstellen.

Naar deze onderstelling werd de concentratie van de KJ-oplossing op de volgende wijze berekend:

Het moleculair gewicht van KNO_3 is 101; dat van KJ is 166. Daar nu de isotonische coëfficiënt van KJ ($= 2 + 1 = 3$) gelijk moet zijn aan dien van KNO_3, is 1 molecule KJ isotonisch met 1 molecule KNO_3, of 166 gewichtsdeelen KJ isotonisch met 101 gew. deelen KNO_3, of eindelijk een Joodkalium-oplossing van 1.66 % isotonisch met een salpeter-oplossing van 1.01 %.

Zoo werd de concentratie van de chloorbaryumsolutie door de volgende beschouwing afgeleid:

Het moleculair gewicht van $BaCl_2 + 2$ aq. is 244. Daar de isotonische coëfficiënt van chloorbaryum $0 + 2 \times 2 = 4$ is, zijn 4 moleculen $BaCl_2$ isotonisch met drie moleculen KNO_3, of $^3/_4 \times 244$ gew. deelen ($BaCl_2 + 2$ aq.) met 101 gewichtsdeelen kalisalpeter, en is dus eindelijk eene oplossing van 1.83 % van het gekristalliseerde chloorbaryum isotonisch met eene oplossing van salpeter van 1.01 %.

Men vindt ook in tabel B, dat de berekende en de gevonden cijfers goed overeenstemmen.

Tabel B.

I	II	III	IV	V	
STOFFEN.	Gehalte, waarbij de bloedlichaampjes in een kleurloos vocht bezinken.	Gehalte, waarbij de bloedlichaampjes minder volkomen bezinken en de vloeistof rood is.	Gemiddelde.	Berekend	bij C[illegible]
Joodkalium . . .	1,71 pCt.	1,57 pCt.	1,64 pCt.	1,66 pCt.	3
Joodnatrium . .	1,54 „	1,47 „	1,55 „	1,50 „	3
Broomkalium . .	1,22 „	1,13 „	1,17 „	1,19 „	3
Broomnatrium . .	1,06 „	0,98 „	1,02 „	1,03 „	3
Chloormagnesium (met 6 aq.)	1,58 „	1,47 „	1,575 „	1,522 „	4
Chloorbarium (met 2 aq.)	1,87 „	1,75 „	1,81 „	1,83 „	4

Proeven, in het werk gesteld, om na te gaan, in hoeverre vrije zuren aan de isotonie voldeden, leidden niet tot het gewenschte resultaat. Bij toevoeging van oplossingen van wijnsteenzuur, hippuurzuur en citroenzuur in hoogere en lagere concentratiën, werd de vloeistof na korteren of langeren tijd donkerbruin en de massa korrelig. In oplossingen van boorzuur, evenals in die van chloorammonium, bij sterke zoowel als bij zwakke concentratie, verloren de bloedlichaampjes hun kleurstof. De vloeistof was hier echter blijvend rood.

Om te zien, in hoeverre boorzuur en chloorammonium, als zoodanig, zich ten opzichte van de bloedlichaampjes verhielden, moest de invloed van het water uitgesloten worden. Te dien einde stelde Prof. Donders voor, de werking van deze stoffen na te gaan in tegenwoordigheid van eene salpeteroplossing, waarin de bloedlichaampjes in een kleurloos vocht bezonken. De bloed-

lichaampjes van het gedefibrineerde bloed, dat hiertoe gebruikt werd, bezonken in eene oplossing van KNO_3 van 1.04 %, zonder haemoglobine af te staan, terwijl in eene solutie van 0.96 % het uittreden van haemoglobine duidelijk was waar te nemen. Nu werden 20 cM.³ salpeteroplossing van 1.11 % vermengd met 1.33 cM.³ chloorammonium van verschillende concentratiën, zoodat 'eeds vloeistoffen ontstonden, die 1.04 % salpeter bevatteden met verschillende hoeveelheden chloorammonium. Zoo kon blijken, welke de kleinste hoeveelheid chloorammonium was, voldoende, om in eene salpeteroplossing van 1.04 %, waarin anders de bloedlichaampjes volkomen bezonken, haemoglobine te doen uittreden. Dit nu geschiedde, wanneer het toegevoegde volumen chloorammonium, 0.156 % NH_4Cl bevatte. Op het geheele volumen der vloeistof berekend, veroorzaakt dus chloorammonium van $\frac{1.33}{21.33} \times 0.156\ \% = 0.097\ \%$ reeds het uittreden van haemoglobine. Hetzelfde geschiedde met boorzuur-oplossing van 0.086 %.

Ten einde een denkbeeld te verkrijgen omtrent de werking van chloorammonium, in tegenwoordigheid van salpeteroplossingen van hoogere concentratie, werden 20 cM.³ salpeteroplossing van 2 % vermengd met 1.33 cM.³ chloorammonium van 20 %: door deze betrekkelijk sterke salmiakoplossing zelfs werd geen uittreden van haemoglobine teweeggebracht.

Uit dit feit mag het besluit getrokken worden, dat salpeter de werking van chloorammonium op de bloedlichaampjes, althans binnen zekere grenzen neutraliseert, en dat hoogstwaarschijnlijk nog minder chloorammonium dan 0.097 % voldoende is, om uittreden van haemoglobine te veroorzaken, daar 1.04 % wel niet de uiterste

grens voor die concentratie der salpeteroplossing zal geweest zijn, waarbij de bloedlichaampjes geen roode kleurstof verloren.

Voorts werd nog de invloed van oplossingen van ureum en glycerine (beiden ammoniakvrij) nagegaan. Zij veroorzaakten, zoowel in sterke als in zwakke concentratiën, uittreden van haemoglobine. De inwerking van glycerine gaat tamelijk langzaam, zoodat het gebeuren kan, dat eerst, nadat eene groote hoeveelheid bloedlichaampjes zijn bezonken, en hierdoor bovenaan eene kleurlooze vloeistoflaag is overgebleven, het uittreden van haemoglobine in de daaronder gelegen lagen begint. Keert men dan later de reageerbuis om, dan vermengt zich de uitgetreden roode kleurstof over de geheele vloeistofmassa en een kleurlooze laag komt niet meer te voorschijn.

De betrekkelijke hoeveelheden bloed en zoutsolutie bleken zonder merkbaren invloed te zijn. Bij vermenging van 8 $cM.^3$ bloed met 20 $cM.^3$ zoutsolutie werden dezelfde grenzen verkregen, als bij toevoeging van 2 $c.M._3$ bloed bij hetzelfde volumen der zoutoplossingen.

Opmerking verdient nog, dat de snelheid van bezinken gewoonlijk het grootst is voor salpeteroplossingen van niet hooger dan 7.15 $^0/_0$. Voor hoogere concentraties is de bovenstaande vloeistof ook niet meer kleurloos, maar heeft een roodachtige tint. Deze verschijnselen werden ook bij andere zouten en bij rietsuiker waargenomen.

II. Vergelijking van den invloed van zoutoplossingen op gedefibrineerd en niet-gedefibrineerd runderbloed.

In een schaal werd bloed opgevangen, onmiddellijk daarna voor een deel in zoutoplossingen gegoten en innig er mede vermengd, terwijl de rest gedefibrineerd

en op gelijke wijze met de zoutoplossingen behandeld werd als het niet-gedefibrineerde.

Het betrekkelijk geringe onderscheid tusschen de concentraties van oplossingen, noodig voor het teweeg brengen van dezelfde verschijnselen in gedefibrineerd en niet gedefibrineerd bloed, gaf aanleiding tot het bezigen van vloeistoffen, die onderling minder in zoutgehalte verschilden dan de tot dusverre gebruikte. Was echter bij de vorige proeven, bij het gebruik van een salpeteroplossing van bijv. 0.96 %, de roode kleur waar te nemen, bij aanwending van een nitrumsolutie van 1.05 % was slechts een roode tint te bespeuren, wanneer men de bovenstaande vloeistof vergeleek met eene volkomen kleurlooze, welke dan ook altijd versch bereid werd, door bloed te vermengen met oplossingen, waarvan de concentratiën, zonder eenigen twijfel, het uittreden van haemoglobine beletteden. De bepaling der grenzen bleef toch zeer scherp. De volgende tabel C bevat eenige resultaten, die verkregen werden met salpeter-, chloornatrium- en suikersoluties.

Tabel C.

I	II	III	IV	V	
STOFFEN.	Gehalte, waarbij de bloedlichaampjes in kleurloos vocht bezinken.	Gehalte, waarbij de bloedlichaampjes minder volkomen bezinken en de vloeistof rood is.	Gemiddelde.	Isotonisch met salpeteroplossing van	Berekend met den coëfficiënt.
Kaliumnitraat .	1,072 pCt.	1,05 pCt.	1,06 pCt.	1,06 pCt.	3
Keukenzout . .	0,620 „	0,609 „	0,614 „	1,06 „	3
Rietsuiker . .	5,48 „	5,38 „	5,43 „	1,06 „	2
Kaliumnitraat .	1,089 „	1,072 „	1,08 „	1,08 „	3
Keukenzout . .	0,6305 „	0,620 „	0,625 „	1,08 „	3
Rietsuiker . .	5,67 „	5,57 „	5,62 „	1,097 „	2

Uit deze tabel ziet men, dat niet-gedefibrineerd bloed een zoutoplossing eischt van een weinig hoogere concentratie dan gedefibrineerd bloed, en dat de isotonie bij salpeter en chloornatrium onveranderd blijft bestaan, terwijl suiker eene geringe afwijking vertoont.

III. Invloed van de temperatuur der zoutsoluties op het uittreden van haemoglobine in runderbloed.

De oplossing van kalisalpeter, chloornatrium en rietsuiker [1]) werden op 0°, 14° en 34° gebracht. Op de gewone wijze met gedefibrineerd runderbloed vermengd, werden deze mengsels gedurende 20 uren in gesloten reageerbuizen op hunne respectieve temperaturen gehouden.

Tabel D.

	0°		14°		34°	
STOFFEN.	Gehalte, waarbij de bloedlichaampjes in een kleurloos vocht bezinken.	Gehalte, waarbij de bloedlichaampjes minder volkomen bezinken en de vloeistof rood is.	Gehalte, waarbij de bloedlichaampjes in een kleurloos vocht bezinken.	Gehalte, waarbij de bloedlichaampjes minder volkomen bezinken en de vloeistof rood is.	Gehalte, waarbij de bloedlichaampjes in een kleurloos vocht bezinken.	Gehalte, w bij de bloe lichaampj minder vol men bezin en de vloe rood is.
Kaliumnitraat .	1,052 pCt.	1,03 pCt.	1,052 pCt.	1,03 pCt.	1,052 pCt.	1,03 pC
Chloornatrium .	0,62 „	0,609 „	0,62 „	0,609 „	0,62 „	0,609
Rietsuiker	5,48 „	5,38 „	5,48 „	5,38 „	5,48 „	5,[illegible]8

Uit deze tabel volgt, dat de invloed der temperatuur op het bezinken niet bijzonder groot kan zijn. Steeds echter, was hij duidelijk merkbaar, en wel in dien zin, dat,

1) Deze drie stoffen werden bij voorkeur gebruikt, omdat haar moleculair-gewichten aanzienlijk verschillen en in verband hiermede de gevorderde concentraties zeer uiteenloopen.

hoe lager de temperatuur, des te geringer de concentraties der vloeistoffen waren, waarbij alreeds eene totaal kleurlooze vloeistof zich boven de bloedlichaampjes verhief.

Zoo was bijv. duidelijk waar te nemen, dat voor nitrum de bovenstaande vloeistof bij gebruik van eene zoutconcentratie van 1.03 °/₀ bijna kleurloos was, zoodat men bijna geneigd zou geweest zijn, het getal 1.03 °/₀ onder de voorgaande kolom te plaatsen. Bij gebruik van dezelfde salpeter-oplossing bij 34° was de bovenstaande vloeistof flink rood, veel sterker dan bij de oplossing van 14°.

Hetzelfde werd bijzonder duidelijk waargenomen bij suiker en chloornatrium.

In eene vroegere reeks van proeven, met broomkalium, werd een soortgelijke invloed erkend.

Ten slotte nog de opmerking, dat, na 20 uur, bij 0°, de bloedlichaampjes in twee duidelijk afgescheiden lagen waren bezonken, waarvan de bovenste, licht rood en bijna doorschijnend, steeds bij alle oplossingen veel dikker was, dan in de mengsels van 14°, en dat eindelijk, na denzelfden tijd, mengsels van 34° deze laag niet vertoonden.

Waarschijnlijk heeft men hier te doen met een verschil in bezinkingssnelheid, want ten laatste ziet men de bovenste laag geheel in de onderste overgaan. Mikroskopisch kon ook geen verschil waargenomen worden tusschen de lichaampjes der beide lagen.

IV. Proeven met bloed van andere dieren als van het rund.

a. *Varkensbloed.*

Varkensbloed vereischte ongeveer dezelfde concentraties van nitrum, keukenzout en rietsuiker als koeien- en ossenbloed.

b. *Vogelbloed.*

De isotonie voor het gedefibrineerde kippen- en eendenbloed, welke beide precies dezelfde cijfers gaven, werd bestudeerd met salpeter, keukenzout, magnesiumsulfaat, chloorcalcium en chloorbarium.

De grenzen voor het nitrum bleken te zijn 0.769 en 0.714 %, voor chloornatrium 0.4498 en 0.417 % en voor rietsuiker 3.944 % en 3.66 %. Het was inderdaad merkwaardig te zien, hoe de tinten der correspondeerende bovenstaande vloeistoffen voor nitrum, keukenzout en suiker in de isotonische concentraties van de Vries volkomen overeenstemden. Met betrekking tot magnesiumsulfaat en chloorcalcium viel op te merken, dat vloeistoffen, bij aanwending van concentraties, isotonisch met eene salpeteroplossing van 0.769 %, een rood tintje vertoonden, dat slechts bij vergelijking met geheel kleurlooze oplossingen was waar te nemen en dat bij gebruik van hoogere (isotonisch met salpeter van 0.82 %) en lagere concentratiën, de bovenstaande vloeistof eene veel roodere tint bezat.

Voor eene chloorbarium-oplossing, isotonisch met salpeter van 0.769 % (isot. coëff. 4) had de bovenstaande vloeistof dezelfde tint als voor chloorcalcium van dezelfde isotonische concentratie. In een chloorcalcium-oplossing, isotonisch met eene salpeter-solutie van 0.798 %, bezonken de bloedlichaampjes volkomen, zonder haemoglobine te verliezen.

Met behulp van vogelbloed, hebben wij de isotonische coëfficiënten bepaald van ferrocyaankalium ($K_4FeCN_6 + 3\ aq$) en van ferricyaankalium ($K_6Fe_2CN_{12}$). Wij vonden voor het eerste den coëfficiënt 8, voor het tweede 12. Indien de derde stelling van de Vries ook hier toegepast mag worden, is de isotonische coëfficiënt van ferrocy-

aanwaterstofzuur 8—4 × 1 = 4 en die van ferri-cyaanwaterstofzuur 12—6 × 1 = 6 (de isotonische coëfficiënt van een alkali-metaal = 1 zijnde).

Opmerking verdient nog het feit, dat, na één dag, het vogelbloed niet meer voor nauwkeurige waarnemingen kon gebruikt worden. Na het bezinken der bloedlichaampjes waren slechts bij tamelijk versch bloed kleurlooze vloeistoffen te verkrijgen. Runderbloed daarentegen, ook na twee dagen gebruikt, gaf nog gelijke resultaten als het versche.

c. *Visschenbloed.*

Het visschenbloed werd verkregen, door het hart van de zeelt, terwijl het in diastole verkeerde, na gemeenschappelijke onderbinding der vaten te verwijderen.

De bekende grenzen voor suiker en chloornatrium, bleken isotonisch te zijn met salpeter-soluties van 0,714 en 0.625 %.

Ook voor salpeter zelf, waren deze grenzen geldig. Echter was op te merken, dat de bovenstaande vloeistof voor de salpeteroplossing van 0.625 % sterker rood gekleurd was, dan voor de daarmede (naar de Vries) isotonische suiker- en chloornatriumoplossing, bij welke beide laatste de tint volkomen gelijk was.

In salpeter bezonken de bloedlichaampjes niet zoo snel als in chloornatrium en suiker.

Bovenstaande cijfers zijn het resultaat van onderscheidene proeven.

d. *Amphibiënbloed.*

Evenals het bloed van de zeelt, werd het kikvorschenbloed (Rana esculenta) verkregen door, na gemeenschappelijke onderbinding der vaten, het hart, beroofd van het pericardium, te verwijderen.

De grenssoluties voor salpeter, chloornatrium en suiker

waren, in salpeterwaarde uitgedrukt, gemiddeld 0.325 en 0.2807. Daarbij viel op te merken, dat in de salpeteroplossing van 0.2807 $^0/_0$ de bovenstaande vloeistof het meest rood, in de daarmede overeenkomende suikeroplossing minder rood en in de keukenzoutoplossing het minst rood was. De beide laatsten verschilden echter zeer weinig in tint.

V. Besluit.

Vatten wij de resultaten van de voorgaande proeven samen, dat merken wij op, dat de isotonische coëfficiënten van Prof. Hugo de Vries in het algemeen bij de bloedlichaampjes teruggevonden worden, en in het bijzonder:

1°. dat, voor runder- en vogelbloed, de alkalizouten nauwkeurig beantwoorden aan de door de Vries gegeven regels, voor visschen en amphibiënbloed eene geringe afwijking vertoonen in gelijken zin.

2°. dat rietsuiker, voor runderbloed, wijst op een coëfficiënt 2 (zie tabel C), welke ook zeer nauwkeurig bij vogelbloed wordt weergevonden; dat, voor visschen en kikvorschenbloed, eene geringe afwijking wordt waargenomen in gelijken zin, en wel zoodanig, dat een eenigszins grootere coëfficiënt vereischt wordt.

3°. dat de aardalkalizouten voor runderbloed tamelijk wel den isotonischen coëfficiënt vorderen (zie tabel A), voor vogelbloed echter meer overhellen naar den coëfficiënt 4,3, zooals de Vries voor plantencellen vond; hetzelfde geldt voor chloorbaryum.

4°. dat chloorammonium, boorzuur, glycerine en ureum, zoowel in geconcentreerde als in verdunde oplossingen, de haemoglobine doen uittreden (ook waar nitrum aanwezig is), dat zuren, zooals hippuurzuur, citroenzuur

en wijnsteenzuur in verschillende concentratiën de bloedlichaampjes tot een bruin gekleurde korrelige massa reduceeren, en dat ferrocyaankalium den isotonischen coëfficiënt 8, ferricyaankalium den isotonischen coëfficiënt 12 bezit, waaruit, met inachtneming van de derde stelling van de Vries, kan afgeleid worden, dat de coëfficiënten van ferro- en ferricyaanwaterstofzuur zijn, respectievelijk 4 en 6.

5°. dat het defibrineeren van runderbloed de benoodigde concentraties een weinig verlaagt, terwijl overigens de isotonie voor nitrum en chloornatrium blijft gelden, en voor rietsuiker eene geringe afwijking vertoont.

6°. dat bij hoogere temperatuur, de concentraties der zoutoplossingen stijgen, waarin de bloedlichaampjes bezinken, zonder haemoglobine af te staan; verder, dat bij verhooging van temperatuur, ook de bezinkingssnelheid merkbaar toeneemt.

7°. dat de grens voor de concentraties der zoutoplossingen, waarin de bloedlichaampjes bezinken, zonder haemoglobine af te staan, in salpeterwaarde uitgedrukt is: van runder- en varkensbloed gemiddeld 1 %, van vogelbloed 0.741 %, van zoetwater-visschenbloed 0.669 % en van kikvorschenbloed 0.3021 %.

8°. dat de bezinkingssnelheid, bij gelijke temperatuur, voor runderbloed het geringst is.

Indien het bleek, dat, wanneer in het bloedlichaampje plasmolyse intrad, ook uittreden van haemoglobine plaats vond, dan zou het laatste misschien als makroskopische index voor plasmolyse kunnen aangezien worden. Wat bleek echter? In eene suikersolutie van 3.1 % hadden, naar mikroskopische waarnemingen van Prof. Donders, bijna alle kikvorschbloedlichaampjes het begin van plasmolyse overschreden, terwijl ma-

kroskopische proeven leerden, dat in eene suikersolutie van ongeveer 1.4 % uittreden van haemoglobine plaats had. — Bij het mededeelen van de resultaten der mikroskopische methode, zal het verband tusschen plasmolyse van plantencellen en de verschijnselen, bij bloedlichaampjes opgemerkt, nader worden onderzocht.

Wij stellen ons ook voor, de inwerking van zoutoplossingen ook op levende weefsels na te gaan.

KLEURVERGELIJKINGEN

DOOR

F. C. DONDERS.

III.

GROND VAN HET VERSCHIL DER BEIDE KATEGORIEËN VAN RAYLEIGH.

Onder I [1]) bepaalden wij de verhouding, waarin het spectraal rood en groen Li en Tl (beantwoordende, respectievelijk, aan het rood en groen van het Lithium- en Thalliumspectrum) een geel vormen Na′, dat (bij minder saturatie) in kleur en intensiteit met het spectrale geel der Natriumlijn Na gelijk staat, als x Li + y Tl = q Na′.

In de eerste kategorie, die van normale oogen, bleek de verhouding x : y te kunnen verschillen

van	69	:	31	=	2.3	:	1
tot	77.8	:	22.2	=	3.33	:	1
gemidd.	72 6	:	27.4	=	2.65	:	1

In de tweede kategorie, in het algemeen gevallen van zwakken kleurzin, was die verhouding een geheel andere. Wij vonden hier:

van	51.3	:	48.7	=	1.053	:	1
tot	32.1	:	67.9	=	0.473	:	1
gemidd.	45	:	55	=	0.82	:	1

Op 1 Tl komt dus bij normalen kleurzin 2.65 Li, bij zwakken kleurzin slechts 0.82 Li, met andere woorden,

---

1) Zie Onderzoekingen. D. VIII. p. 170.

bij normalen kleurzin wordt 1 Tl geneutraliseerd door 2.65 Li, bij zwakken kleurzin door 0.82 Li.

De vraag is, waarop dit enorme verschil berust.

In de eerste plaats dachten wij aan een verschil der betrekkelijke intensiteiten van Li en Tl. Bij groenblinden is werkelijk de intensiteit van het groen in het spectrum relatief gering, en terwijl zwakke kleurzin op den weg naar de groenblindheid ligt, was er grond om te vermoeden, dat de verhouding der intensiteiten tusschen Li en Tl ook daarbij ten nadeele van Tl zou uitvallen. Het onderzoek leerde echter juist het tegendeel. Op tien oogen met normalen en tien met zwakken kleurzin werd de verhouding bepaald der relatieve intensiteiten van Na : Li en Na : Tl en uit deze beide die van Tl : Li berekend.

Onderstaande tabel bevat de resultaten:

voor normalen kleurzin. voor zwakken kleurzin.

NAAM.	Na 10 = Li	Na 10 = Tl	Tl 1 = Li	NAAM.	Na 10 = Li	Na 10 = Tl	Tl 1 = Li
Engelmann . . .	54.6	25.5	2.1	Blonk	45	23.6	1.9
Donders	60.8	19.8	3	Van Dugteren .	68.8	20.4	3.4
Bätz	49.7	21.9	2.3	Snel	77.4	32.8	2.3
Nolst Trenité. .	52.5	21.2	2.5	Van Andel . .	72	26	2.8
Dobberke	53.3	25	2.1	Schaefer	69.9	20.4	3.4
Cramer	60.5	30.6	2	s' Jacob	81	27	3
Einthoven . . .	53	25.4	2.1	Van Persijn . .	61.1	19 5	3.1
Kagenaar. . . .	26.9	17.3	1.6	Fraenkel . . .	77.5	22.5	3.4
Hamburger . .	32.4	19.1	1.7	Van Herwerden	66	26	2.5
Van Loon . . .	43.2	21.4	2	Wichmann . .	67	31.5	2.1
Gem.	48.7	22.7	2.14	Gem.	68.5	24.9	2.79

Wij zien hieruit, dat bij normalen kleurzin de intensiteit van 1 Tl gemiddeld gelijkstaat met die van 2.14 Li, bij zwakken kleurzin met die van 2.79 Li. —Voorts leert de

tabel, dat het verschil tusschen de beide kategorieën niet zoozeer in de intensiteitsverhouding van Na : Tl als in die van Na : Li gelegen is.

De intensiteitsverhouding Tl : Li is, zooals wij zagen, op indirecte wijze verkregen, door nl. Li en Tl ieder afzonderlijk met Na te vergelijken. Daarbij scheen het kleursverschil minder bezwaar op te leveren dan bij een directe vergelijking van Li en Tl met elkander [1]). Intusschen is ons uit vergelijking met vroegere resultaten gebleken, dat bij normalen kleurzin de beide methoden genoegzaam gelijke resultaten leveren. Bij 15 personen vonden wij

	q Li : q′ Tl			
Methode . . .	min.	max.	gemidd.	m_1 1)
Indirecte . . .	1.94	3.3	2.53	0.44
Directe	1.8	3.7	2.64	0.52

Even als voor normalen en zwakken kleurzin, hebben wij de intensiteitsverhouding van Tl : Li bepaald bij tien groenblinden en tien roodblinden, waarvan de uitkomsten ter onderlinge vergelijking hier worden medegedeeld:

1) Op heterochromatische intensiteitsvergelijkingen, waarmede wij ons veel hadden bezig te houden, komen wij later onder VI terug.

2) m_1 beteekent de gemiddelde fout, d. i. de gemiddelde afwijking van de gemiddelde.

N A A M.	Na 10 = Li	Na 10 = Tl	Tl. 1 = Li	N A A M.	Na 10 = Li	Na 10 = Tl	Tl 1 = Li
	Voor roodblinden.				**Voor groenblinden.**		
Cladder	360	13.1	27.5	v. d. Sijp . . .	65.2	32.6	2
Gunning	232	16.4	14.1	Klinkert	68.2	26.8	2.5
E. Hupkes . . .	327	11.1	29.4	B. Snellen . .	66.9	37.1	1.8
H.W. N. Hupkes	283	14	20.2	Hollanders . .	62.5	26	2.4
Taalman Kip. .	277	15	18.4	v. d. Vlies . .	66.7	26.3	2.5
v, d. Weijde . .	295	8.7	33.9	v. Lier	65	19	3.4
Elfrinkhof . . .	240	8	30.	Hanlo	68.5	23.5	2.9
Wenckebach . .	296	10.4	28.4	Imans	59 5	17.5	3.4
Ising	217	11	19.7	Beets	31.7	17.2	1.8
Hooing	240	14.2	16.9	v. Dugteren . .	84.2	19.6	4.3
Gem.	276	12.19	23.85	Gem.	63.84	24.56	2.7

Wij vinden dus voor roodblinden Li : Tl gemidd. = 23.8
„ groenblinden „ „ „ = 2.7

Hieruit blijkt, dat voor groenblinden de intensiteitsverhouding zoowel van Na : Li als van Na : Tl, en dus ook van Tl : Li, met die bij normalen kleurzin tamelijk overeenstemt. Een sterke en constante tegenstelling leveren daarentegen de intensiteitsverhoudingen bij de roodblinden. De intensiteit van Tl : Na stijgt hier tot het dubbele en die van Li : Na daalt tot $\frac{1}{5}$, zoodat die van Li : Tl bijna tienmaal geringer wordt dan bij normalen en groenblinden. Inderdaad zijn de betrekkelijke lichtintensiteiten van Li, Tl en Na voldoende, om de rood- en groenblinden te karakteriseeren en om het ontbreken van overgangsvormen, althans in de twintig hier medegedeelde gevallen, aan te toonen. Duidelijk genoeg treedt hieruit ook te voorschijn, dat de gevallen van zwakken kleurzin zonder uitzondering tot de groenblindheid naderen, geen van allen tot de roodblindheid.

Is nu uit het bovenstaande gebleken, dat het verschil der gevorderde proportie Li : Tl, in de beide kategorieën, niet afhankelijk is van een verschil in de intensiteitsverhouding, dan kan men de verklaring moeilijk in iets anders zoeken als in een betrekkelijk geringe ontwikkeling der groene valentie in het Tl, vergeleken met die der roode in het Li. Van de betrekking dier valenties hangt het af, welke hoeveelheden Tl en Li elkander neutraliseeren en, zoodoende, enkelvoudig geel te voorschijn brengen. Proefondervindelijk is mij dan ook reeds gebleken (zie VI), dat de kleinste merkbare verschillen van golflengte aan de groene zijde van het geel bij zwakken kleurzin sterker stijgen dan aan de roode zijde, vooral bij groote lichtintensiteit. In verband hiermede moet nog worden onderzocht, in hoever bij zwakken kleurzin de lichtintensiteit invloed heeft op de in de Na-vergelijking gevorderde proportie Tl : Li.

Nadat mij gebleken was, dat de verschillen in de gevorderde proportie van Li : Tl voor oogen van de eerste kategorie met de ligging van het enkelvoudige geel in het spectrum in verband staat (zie IV), heb ik nog onderzocht, in hoever die ligging ook bij zwakken kleurzin haren invloed mocht doen gevoelen. 't Is mij echter gebleken, dat tot verklaring der bij dezen gevorderde proportie die niet of nauwelijks in aanmerking komt. De daarop onderzochte personen der tweede kategorie wijzen in den kleurcirkel hetzelfde geel als het enkelvoudige aan en, met een enkele uitzondering, in het spectrum een geel, dat niet ver van de streep D verwijderd is.

IV.

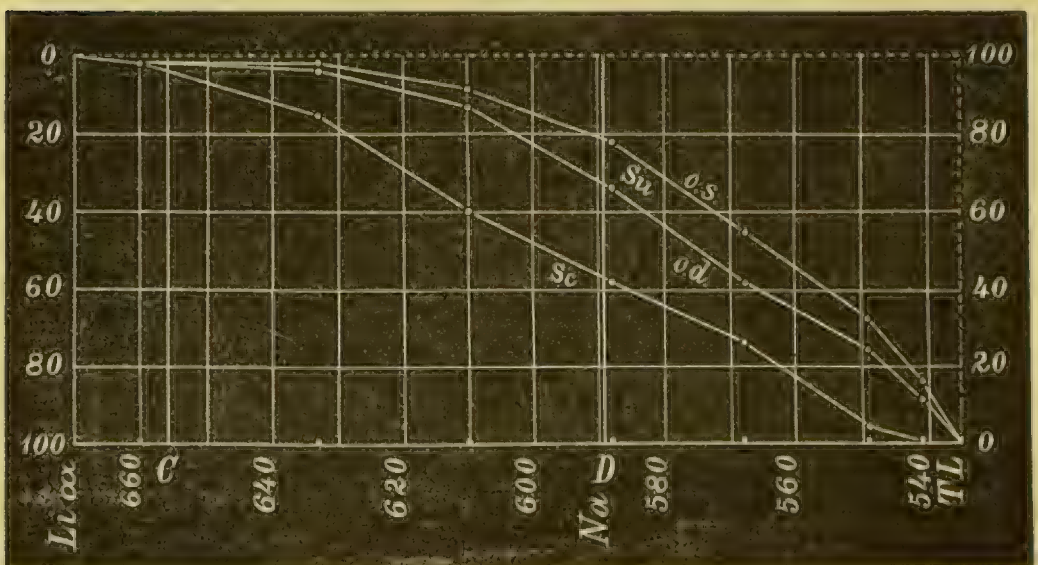
VERKLARING DER INDIVIDUEELE VERSCHILLEN IN DE EERSTE KATEGORIE, DIE VAN NORMALEN KLEURZIN.

De verschillen, die bij normalen kleurzin in de vergelijking x Li + y Tl = q Na' in de proportie x : y voorkomen, zijn zoo aanzienlijk, dat wij het noodig achtten, te bewijzen, dat al die gevallen tot één en dezelfde kategorie behooren en de verschillen dus als individueele te beschouwen zijn [1]). Zij strekken zich uit van 69 : 31 tot 77.8 : 22.2, welke coëfficiënten nagenoeg tot elkander staan als 2 : 3.

Wij hebben nu te onderzoeken, waarmede die individueele verschillen in verband staan. De weg daartoe werd ons gewezen door die gevallen, waarin bij dezelfde personen voor de beide oogen een verschillende proportie werd gevonden.

Bovenal belangrijk was uit dit oogpunt het geval van Dr. S u l z e r, wiens oogen, hoewel beide tot de eerste kategorie behoorende, zooals gezegd, aanzienlijk van elkander afwijken en zoodoende nagenoeg de uitersten van den normalen kleurzin vertegenwoordigen.

Fig. 5.



1) Verg. D. VIII. bl. 178.

Wij reproduceeren hier in figuur 5, als *o. s.* en *o. d.*, de krommen, die de proporties aangeven, waarin Li-rood en Tl-groen gevorderd werden voor de vergelijkingen met alle tusschen de Li- en Tl-streep gelegen kleuren, en geven vervolgens het woord aan Dr. Sulzer, die de goedheid had, de resultaten van zijn onderzoek in een afzonderlijke nota samen te vatten:

a. *Nota van* Dr. Sulzer.

„Bei Herstellung der Gleichung x Tl + y Li = q Na′ zeigten sich für die beiden Augen wesentliche Abweichungen der Grössen x und y, eine Erscheinung, die vielleicht bei der Mehrzahl der normalen Beobachter vorhanden war, jedoch bei keinem andern auch nur von Ferne ein so beträchtliches Mass erreichte, was eine vergleichende Untersuchung der beiden Augen von Werth erscheinen liess. Wurden Spektralgelb und gemischtes Gelb, die für das rechte Auge nach Tinte und Intensität vollkommen gleich waren, mit dem linken Auge betrachtet, so erschien das gemischte Gelb zwar etwas lichtschwächer und etwas weniger saturirt, aber von gleicher Tinte wie für das rechte Auge; das Spektralgelb aber contrastirte durch deutlichen Orangeton auffallend mit dem gemischten. Um die Gleichung fur das linke Auge herzustellen, musste die Proportion 30.5 Tl + 69.5 Li = 23.04 Na′ verändert werden in 19.8 Tl + 80.2 Li = 19.95 Na′. Ein ähnlicher Unterschied zwischen beiden Augen besteht in abnehmendem Masse nach beiden Seiten hin für die Gleichungen aller zwischen Li und Tl gelegenen Farben, welches Verhältniss durch die beiden Curven *o. s.* und *o. d.* der Fig. 5 veranschaulicht wird.

Eine nähere Untersuchung zeigte, dass der Grund dieser Erscheinung darauf beruhte, dass im warmen Theil

des Spektrums gleichen Wellenlängen Empfindungen entsprechen, die in den beiden Augen nach Tinte, Intensität und Saturation verschieden sind, während im kalten Theil des Spektrums die Abweichung sich auf Intensität und Saturation beschränkt. Die gleiche Erscheinung zeigte sich für die Flammen der entsprechenden Metalle (Li, Tl, Na) sowie für durch entsprechend gefärbte Gläser fallendes Licht gültig, während gleiche undurchsichtige Pigmentfarben in beiden Augen gleiche Empfindungen hervorriefen.

Die in beiden Augen gleichen Empfindungen entsprechenden respectiven Wellenlängen wurden auf drei Arten zu bestimmen versucht:

1) Durch Bestimmung der Lage der einfachen Farben, für jedes Auge, an dem einfachen Spalte des Doppelspektroskops.

2) Durch Bestimmung der, gleichen Mischungen von Tl und Li entsprechenden zwischenliegenden einfachen Spektralfarben, für jedes Auge, vermittelst des Doppelspektroskops.

3) Durch Verschiebung zweier nebeneinander auf einem Schirm projicirter, durch ein in der Sagittalebene befindliches Diaphragma getrennter gleicher Spektren (eines entsprechend einem der gekoppelten, das andere dem einfachen Spalte des um 90° gedrehten Doppelspektroskops), derer eines im rechten Auge, deren anderes im linken Auge sein Bild entwarf, sowie durch Verschiebung der übereinander liegenden Doppelbilder ein und desselben Spektrums, die durch vor beide Augen gebrachte, mit dem brechenden Winkel je nach oben resp. unten stehende gleiche Prismen hervorgebracht waren.

Die mittleren Werthe der durch die erste Versuchsreihe gewonnenen Resultate zeigt die folgende Tabelle:

Einfaches Gelb.		Einfaches Grün.		Einfaches Blau.	
Rechtes Auge.	Linkes Auge.	Rechtes Auge.	Linkes Auge.	Rechtes Auge.	Linkes Auge.
λ 0.587	0.577	0.538	0.532	0.485	0.485

Die mittlere Abweichung von dem Mittelwerthe betrug dabei beim einfachen Gelb 0,0005 λ für das rechte, 0,001 λ für das linke Auge, beim einfachen Grün 0,002 λ für das rechte, 0,0009 λ für das linke Auge, beim blau endlich 0,002 λ für beide Augen.

Die mittleren Werthe der Vergleichung von verschiedenen Mischungen von Tl und Li mit den zwischenliegenden Spektralfarben, für beide Augen gewonnen aus einer absteigenden und einer aufsteigenden Reihe, gibt die folgende Tabelle:

		Rechtes Auge.		Linkes Auge.	
Tl	Li	Intensität.	λ	Intensität.	λ
10	90	20.3	0.613	17.5	0.6085
20	80	15.3	0.602	16.7	0.593
30	70	22.0	0.5892	20.2	0.578
40	60	21.5	0.581	22.6	0.573
50	50	31.2	0.5745	29.5	0.563
60	40	31.0	0.567	35.0	0.5585
70	30	44.3	0.5585	44.6	0.5525
80	20	47.0	0.5525	53.1	0.547
90	10	53.5	0.547	65	0.543

Die Zahlen der dritten und fünften Colonne zeigen das gegenseitige Verhalten der Intensitäten der Mischungen zu den ihnen nach Farbe gleichstehenden Wellenlängen für die beide Augen.

Die directe Vergleichung zweier nebeneinander ge-

legener Spektra und die Vergleichung der Doppelbilder, vorgenommen für gleiches Roth, Gelb, Grün und Blau, ergab Resultate, die die Ergebnisse der indirecten Vergleichungen bestätigten, jedoch in Folge der weniger genauen Messungsmethoden (directe Messung der erforderlichen Einstellung zur Nebeneinanderstellung gleicher Farben) mit grösseren mittleren Fehlern behaftet waren.

Die Intensität des spektralen Gelb ist für beide Augen annähernd dieselbe. Von hier aus fällt sie für das linke Auge nach beiden Seiten hin rascher als für das rechte, und zwar nach der warmen Seite hin bis zum Ende des Spektrums, nach der kalten bis zu ungefähr λ 0.5325, wo die Intensitäten für das linke Auge erst gleiche und sodann um ein weniges grösser werden.

Für Tl und Li betragen die mittleren Werthe der 10 Na entsprechenden Quantitäten, gewonnen aus einer grosser Zahl zu verschiedenen Zeiten vorgenommener Wahrnehmungen:

o. d. 10 Na = 12.5 Tl = 30.8 Li
o. s. 10 „ = 14.3 „ = 56.6 „

Das Verhalten der Intensitäten im übrigen Spectrum zeigt die folgende Tabelle, aus welcher durch Reduction das Verhalten der verschiedenen Intensitäten gegenüber Na gefunden werden kann.

10 Tl (λ 0.535) =

λ	O. D. ↓	O. D. ↑	O. D. gem.	O. S. ↓	O. S. ↑	O. S. gem.
0.692	110.8	110.8	110.8	149.2	148.5	148.4
0.660	39.0	43.2	41.1	63.4	65.8	64.6
0.633	14.9	14.7	14.8	18.9	18.0	18.45
0.610	8.4	8.7	8.55	11.2	11.0	11.1
0.5892	7.9	8.1	8.0	9.8	10.2	10.0
0.5884	7.5	7.8	7.65	8.9	8.9	8.9
0.5685	9.1	8.7	8.9	10.6	10.8	10.7
0.5495	8.5	8.3	8.4	9.0	8.3	8.65
0.5325	10.8	10.9	10.85	9.8	9.4	9.6
0.5195	17.2	16.1	16.65	13.1	12.7	12.9
0.506	23.9	24.2	24.05	19.8	21.1	20.45
0.495	48.6	46.2	47.4	41.2	38.1	39.65
0.485	74.1	78.2	76.15	64.1	61.8	62.95

Bis zum Grünblau besteht kein Unterschied der Saturation für beide Augen; hier beginnt die Saturation für das linke Auge geringer zu werden als für das rechte, um im Indigo auf $\frac{2}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ der Saturation des rechten Auges zu sinken.

Das Verhältniss der Intensitäten einer Mischung von Tl und Li zur Summe der Intensitäten der Componenten ist für beide Augen ungefähr dasselbe, wie aus der in VI Seite 76 enthaltenen Zusammenstellung der Coefficienten für die zwischen Tl und Li gelegenen Wellenlängen hervorgeht.

Bei gleicher Intensität (einfacher Spalt des Doppelspectroskops = 100 = 1 mM.) beginnt das Spectrum an der warmen Seite für das rechte Auge früher sichtbar zu werden als für das linke. Der Unterschied beträgt ungefähr 0,010 λ. An der kalten Seite beginnt das Spek-

trum mit derselben Wellenlänge für beide Augen zu verschwinden.

Beide Augen besitzen, bei einer Myopie von 3.5 rechter- und 2 linkerseits, volle Sehschärfe und zeigen auch im übrigen vollständig normale Verhältnisse.

Die Empfindlichkeit für geringe Unterschiede von Gelb und Grün ist für beide Augen grösser als gewöhnlich; mehrere Reihen von diesbezüglichen Prüfungen (mit den doppelten Flüssigkeitsprismen, also nicht mit Spectralfarben, Donders) zeigen eine etwas grössere Empfindlichkeit des linken Auges für kleinste Unterschiede, in der Weise jedoch, dass bei binoculärer Fixation die Unterscheidung noch leichter wird als bei monoculärer linksseitiger.

Die obenstehenden Untersuchungen zeigen uns, dass für die beiden Augen eines Individuums die durch gleiche Wellenlängen hervorgebrachten Lichtempfindungen nach Ton, Intensität und Saturation verschieden sein können. Da sich dieselben Verschiedenheiten in der Vergleichung von Tl und Li mit Na sowohl für diese Augen als für die Augen verschiedener Individuen zeigen, so ist es wahrscheinlich, dass dieselben Abweichungen auch für die Augen verschiedener Individuen vorkommen.

Das Verhalten der beiden Augen von Sulzer ist, kurz zusammengefasst, dieses: Das für das rechte Auge etwas früher als für das linke beginnende Spectrum erreicht bei der Lithiumlinie für das rechte Auge eine beinahe doppelt so grosse Intensität als für das linke Auge. Die Intensitäten werden ungefähr gleich bei der Natriumlinie, wo sie zugleich ihr Maximum erreichen; von hier fallen die Intensitäten fur das linke Auge rascher als rechts bis zum Blaugrün, wo nach einer Zone von gleicher Intensität das linke Auge die Farben etwas lichtstärker empfindet. Das umgekehrte Verhältniss hat für

die Saturationen statt. Einem kleinen Unterschied zu Gunsten des rechten Auges im warmen Theile des Spektrums steht eine vom Blaugrün rasch zunehmende und in der Umgebung der Strontiumlinie das doppelte der Saturation des linken Auges erreichende Saturation für das rechte Auge gegenüber. Das Ueberraschendste ist aber wohl der Unterschied im Ton, der das reine Gelb des rechten Auges von λ 0,589 dem linken Auge orange erscheinen lässt, während das reine Gelb des linken Auges bei λ 0,577 liegt.

Das Verhalten des Tones in der warmen Seite des Spektrums des linken Auges, relativ zum Spektrum des rechten, lässt sich kurz so charakterisiren, dass für das linke Auge die warme Seite des Spectrums nach der kalten Seite hin verschoben ist, wobei die grösste Verschiebung bei der Na-linie liegt.

Das individuelle Spektrum des linken Auges zeigt bei der Vergleichung von gemischten Farben mit Spektralfarben in Bezug auf die erforderlichen Quantitäten der Componenten, ein dem schwachen Farbensinn diametral entgegengesetztes Verhalten, ein Verhältniss, das sich auch in der Empfindlichkeit für Unterschiede von Grün und Gelb bestätigt findet.

b. *De ligging van geel in het spectrum.*

Van de vier colores simplices van Lionardo da Vinci is geel het scherpst gekarakteriseerd en vormt in het spectrum slechts een smalle streep, op het keerpunt tusschen rood en groen. [1]) De golflengte, die geel geeft, laat zich dan ook nauwkeurig genoeg inzetten.

---

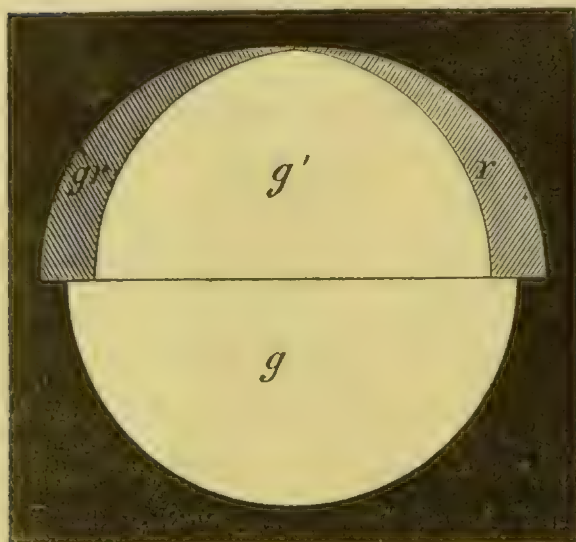
1) Als keerpunten in den kleurcirkel kenmerken zich de enkelvoudige kleuren, in het algemeen.

Verschillende methoden werden beproefd en vergeleken:

a. Spectroscoop, met oculair, waarbij het oog in de oculairspleet de aan beweging der lichtspleet verbondene kleursveranderingen volgt.

b. Spectroscoop, zonder oculair, het oog liggende aan de oculairspleet, bij beweging der lichtspleet de kleursveranderingen volgend van het correspondeerende halfrond (fig. 6 *g*. verg. D. VIII. p. 174).

Fig. 6.



c., als *b*, onder vergelijking met het reeds bepaalde geel van het andere halfrond *g'*, geleverd door één der gekoppelde spleten, (fig. 6 stelt beide geopend voor).

Aan *b* gaven wij de voorkeur; *c* is omslachtiger, zonder veel nauwkeuriger te zijn; *a* komt bij zwakke lichtbron in aanmerking. Methode *c* diende om te onderzoeken, in hoeverre de intensiteit, die voor de beide halfronden in tegengestelden zin kon gewijzigd worden, invloed heeft. Die invloed bleek gering te zijn: een blij geel verkrijgt men alleen bij vrij groote intensiteit; bij geringe wordt de toon grauw, zonder eigenlijke kleursverandering; bij groote intensiteit wordt de grens naar de groene zijde minder scherp.

Bij de bepaling der ligging van het geel komt het vooral aan op een neutrale stemming van het netvlies. Een kort verblijf in het duister of in een grijze kamer, die alléén langs matgeslepen wit glas licht ontvangt van den bewolkten hemel, moet aan de bepaling voorafgaan.

Alle vreemd licht, het licht ook van de gasvlam, die het spectrum levert, moet zorgvuldig uit de kamer geweerd worden. Des avonds, in kunstlicht verkeerende, zet men valsch (te rood) in.

Bij neutrale stemming dus wordt het gemiddelde geel (ongeveer λ 0.581 μ) in het spectroscoop vertoond. Velen noemen dit nu zuiver geel, anderen groen- of roodachtig. Door langzaam heen en weer bewegen met kleinere en kleinere speling vinden allen de grenzen, waar het eenigszins naar rood of groen zweemt, en zetten daartusschen hun geel in. Blijkt dan, na een halve minuut rust, de gekozen kleur te voldoen, zoo wordt de bepaling aangenomen. Opmerkelijk is het, hoe sterk tijdens de beweging het contrast zich hierbij doet gevoelen, niet slechts tegenover het vaste vergelijkingsgeel van methode *c*, dat dan beurtelings naar het groen en naar 't oranje overhelt, maar ook als verandering der kleur — geheel op zich zelve. Is ze groenachtig, en draait men tot op geel, dan neemt ze een oranje-tint aan, om eerst na een oogenblik toevens voor geel plaats te maken, en omgekeerd een groene, wanneer ze oorspronkelijk tot oranje overhelde. Op een en ander heeft men acht te geven, om nauwkeurig in te zetten. De hoofdzaak is: langzaam draaien en, na eenige oogenblikken rust of opfrissching aan het witte matte glas, contrôle.

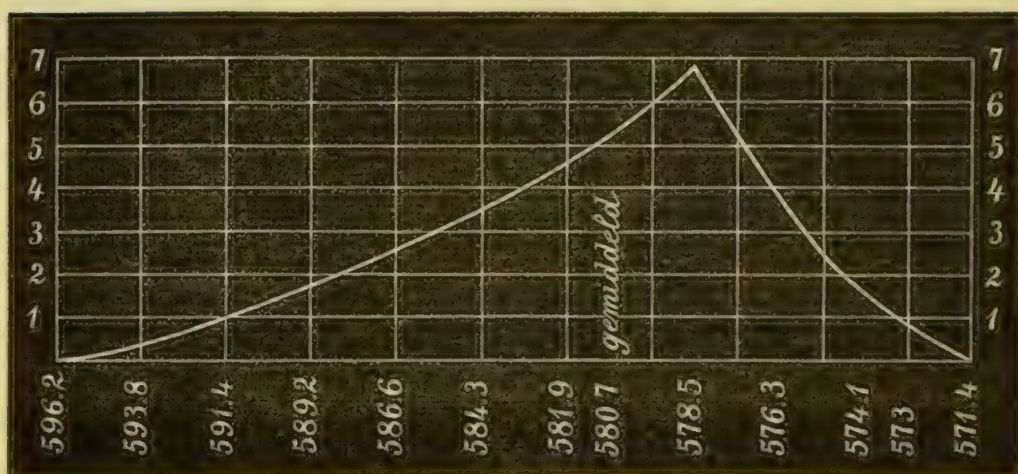
Bepalingen, op deze wijze verkregen, geven slechts een kleine afwijking van de gemiddelde. Bij mij bedroeg ze in verschillende reeksen van λ 0.0002 tot λ 0.0009; bij Engelmann van λ 0.0004 tot 0.0008, bij anderen niet veel meer. De op verschillende dagen verkregen gemiddelden loopen meer uiteen, blijkbaar, omdat gelijke stemming op verschillende tijden niet bereikt wordt. Ze lagen echter niet verder uit elkander dan bij mij

van λ 0.5885 tot λ 0.5903, bij Engelmann van λ 0.5795 tot λ 0.5821, niet meer dan λ 0.0012 tot λ 0.0013 van de gemiddelde afwijkende, zoodat ze voor ons doel alleszins bruikbaar zijn.

Veel grooter nu is de fout niet, die er kleeft aan de bepalingen ook bij de meeste minder geoefende waarnemers.

Op de beschreven wijze geschiedde de bepaling op 111 oogen van 76 personen. Als kleinste golflengte werd gevonden λ 0.572, als grootste λ 0.594, gemiddeld λ 0.582.

Fig. 7.



Bovenstaande figuur 7 geeft een overzicht der resultaten. De abscis wijst de golflengten aan, de ordinaten het aantal gevallen, waarvan het maximum valt op λ 0.579 terwijl de gemiddelde golflengte = λ 0.5821 is. Blijkbaar vormen ze eene enkele kategorie. Hierbij zij herinnerd, dat bij Dr. Sulzer het geel voor het rechter oog op λ 0.589, dat voor het linker oog op λ 0.577 gevonden werd, — voor de beide oogen dus niet ver van de resp. grenzen der kromme.

c. Verband tusschen de ligging van geel en de proportie van Li : Tl.

Na de uitkomsten, door Dr. Sulzer verkregen (verg. *a* bl. 50), werd de ligging van geel in gevallen van gelijken kleurzin der beide oogen bepaald, in de onderstelling, dat ook hier de tot vorming van Na' gevorderde proportie Li : Tl met de ligging van geel zou in verband staan. Die onderstelling werd al dadelijk bevestigd bij vergelijking der vroegere bepalingen van Li : Tl (zie Tabel. Deel VIII, bl. 178), bij eenige der beste waarnemers, met de thans door hen gevonden ligging van geel. Zoo gaf bij

Waelchli	Li 69 : Tl 31.	geel op λ	0.5911
Kagenaar	„ 69 : „ 31.	„ „ „	0.5910
Donders	„ 70.2 „ 29.8	„ „ „	0.5892
Das	„ 71.7 „ 28.3	„ „ „	0.588
Engelmann	„ 74.3 „ 25.7	„ „ „	0.5797
Ecker	„ 74.8 „ 25.2	„ „ „	0.5764
Nolst Trenité	„ 77.1 „ 22.9	„ „ „	0.5761
Hoorweg	„ 77.8 „ 22.2	„ „ „	0.572

Onlangs werden nu nog een achttal personen, bij ieder van hen in een en dezélfde zitting, zoowel Li : Tl als de ligging van geel bepaald en gevonden (I en II):

NAAM.	I			II	III			IV	
	Li ⊃ Tl = Na'			Geel λ	Li ⊃ Tl = geel			10 Na = Li	= Tl
·sbergen. .	69.3	30.7	25.9	0.590	71.1	28.9	23.9	70	19.2
ber	70.5	29.5	24.5	0.587	70	30	24	57	29.2
n Loon . .	71.1	28.9	24.2	0.5845	68.3	31.7	22.6	45	25.5
mburger .	71.9	28.1	24.9	0.584	67.7	32,7	27.6	52.7	15.3
Engelmann	73	27	22.4	0.586	69	31	24.3	46	9.4
Engelmann	73.8	26.2	23	0.5825	69.1	30.9	26.6	67.5	16
ijghens . .	75	24.8	21.1	0.585	71.8	28.2	22.9	?	13
Kagenaar .	76.3	23.7	23.7	0.583	72	28	23.4	29.7	12.7

De kolommen I en II bevestigen op nieuw het verband in de Na-vergelijking tusschen Li : Tl en de ligging van geel. Oppervlakkig beschouwd, schijnt het noodzakelijk. Hoe meer het geel naar de groene zijde ligt, des te meer zal het Na tot oranje naderen en des te minder Tl in de Na-vergelijking gevorderd worden. Zoo eenvoudig is echter de zaak niet. Wanneer bij de veranderde sensatie van Na die van Li en Tl gelijk bleven, zou de redeneering opgaan. Maar op die gelijkheid is niet te rekenen. Integendeel, terwijl, zooals Sulzer vond, met geel tevens groen van plaats verandert, zal de kleur van Tl, die tusschen geel en groen ligt, evenmin aan haar plaats gebonden blijven, en eene verschuiving van Li, waarbij, zoo niet de kleur, de intensiteit al spoedig verandert, is evenzeer te wachten, wanneer het enkelvoudige geel niet met Na samenvalt. En daaruit moeten afwijkingen in het verband voortvloeien, als de tabellen (bl. 59) aanwijzen. Maken wij nu verder de geel-vergelijking d. i. Tl ⊃ Li = geel, dan is het resultaat belangrijk genoeg. Blijkbaar nadert daarbij de verhouding Tl : Li tot die, waar geel genoegzaam met Na samenvalt, d. i. tot Tl 30 : 70. Wij zien dit bij Sulzer, die in de Na-vergelijking voor zijn rechter oog 31, voor zijn linker slechts 21 Tl heeft, en, blijkens de krommen (fig. 5), in de geel-vergelijking voor zijn rechter (bij geel op λ 0.588) 33.5, voor zijn linker (bij geel op λ 0.577) 33.2 Tl krijgt. — Hetzelfde leeren voor Donders en Engelmann de krommen *Do* en *En* van fig. 3. Voor Na zijn de hoeveelheden Tl = 29 en 26, voor hun resp. geel (λ 0.589 voor *Do*, 0.581 voor *En*) = 29 en 30: beperking dus van het verschil tot 1. Directe proeven, met afwisselende waarnemingen, onder gelijke omstandigheden, gaven, als gemiddelden uit 5 bepalingen:

	Tl ⊃ Li	geel op	Tl ⊃ Li = geel
..nders. . . .	29.71 70.29 = Na	0.589	29.71 70.29 = ,,
..gelmann. .	25.75 74.25 = Na	0.581	30 70 = ,,

Zooals uit die cijfers volgt, zie ik in Engelmann's Na-vergelijking het mengsel groen, tegenover het spectrale geel van Na, en in zijn geel-vergelijking het mengsel geel of, naast de voor mij groene spectrale kleur, zelfs goudgeel, terwijl Engelmann in mijne vergelijkingen van Na en geel (beide aan elkander gelijk) het mengsel evenzeer geel en de spectraalkleur daarnaast oranje noemt.

Gelijke getuigenis geven de waarnemingen (III vergeleken met I) op de tweede tabel van bl. 59, die op groote nauwkeurigheid mogen aanspraak maken. Zooals men ziet, loopen hier (bij een ligging van geel van 0.59 tot λ 0.5825 voor de Na-vergelijkingen de proporties uiteen van 30.7 : 69.3 tot 23.7 : 76.3, voor de geel-vergelijkingen (afgezien van Hamburger, met 32.7) slechts van 31.7 : 68.3 tot 28 : 72, en verwijderen zich niet al te veel van 30 Tl, die ongeveer bereikt worden, waar geel nagenoeg met Na samenvalt.

Belangrijk nu is dit resultaat, omdat het voor een deel althans rekenschap geeft van het verrassende feit, dat, in de eerste plaats, Sulzer, wien het Na voor het eene oog oranje, voor het andere geel was, ondoorschijnende gele pigmenten met beide oogen zoo goed als gelijk zag, en dat voorts allen, ze mochten hun geel in of zelfs boven Na, dan wel veel lager (de meeste oogen in het groenachtig geel) onder de spectraalkleuren zoeken, in mijn cirkel van pigmentkleuren, uit straalswijze strooken van even merkbare verschillen gevormd, zonder uitzondering dezelfde strook als het beste geel

aanwezen. Ik zeg — daarvan werd met de verkregen uitkomsten rekenschap gegeven: immers de genoemde pigmenten bevatten betrekkelijk weinig spectraal geel, veel meer een geel, uit mengsels van groen- en roodachtige kleuren gevormd, en voor die mengsels hebben alle oogen, zooals de tabel aanwijst, nagenoeg gelijke, sommige (Huijghens en D. Kagenaar) zelfs eene de spectrale compenseerende roodachtige kleur.

Overigens, afgezien van de hier gevonden verklaring, wachten wij van geel-vergelijkingen, ook met andere componenten als Li en Tl, nog nadere opheldering omtrent intensiteit en saturatie der aan verschillende golflengten eigene kleuren.

V.

DE KLEINSTE MERKBARE AFWIJKINGEN VAN GEEL EN VAN DAARAAN GRENZENDE KLEUREN BIJ NORMALEN EN ABNORMALEN KLEURZIN.

Zooals boven reeds met een woord werd gezegd, staat de coëff. Li : Tl, die de tweede kategorie kenmerkt, niet in verband met de ligging van geel. Op den kleurcirkel geven de tot deze kategorie behoorende, zij mogen meer of minder zwakken kleurzin hebben, dezelfde strook als geel aan, als die der eerste. En als spectraal geel kozen de door mij onderzochten, een enkele uitgezonderd, (die in Tl zijn geel zocht), hun geel in de nabijheid van D. De gemiddelde afwijking m_1 van de gemiddelde is bij hen echter grooter, en ook de gemiddelde bepalingen op verschillende dagen loopen meer uiteen. Zoo vond ik bij Blonk, med. st., die, ondanks zijn vergelijking Li 46.7 + Tl 53.3 = Na′, een vrij volkomen kleurzin heeft, op verschillende dagen van λ 0.595 tot

λ 0.583, gemiddeld λ 0.590, en op denzelfden dag, voor een reeks bepalingen, = λ 0.0022.

Dit alles geldt het vrije inzetten van het zuivere geel. Een andere bepaling is die van het kleinst merkbare verschil, waarmede wij ons hier zullen bezig houden. Mandelstamm [1]) en Dobrowolsky [2]) bepaalden het ieder voor zich zelf, en vonden, in breuken der respectieve golflengten, voor

	Mandelstamm.	Dobrowolsky.
C	1 : 106	1 : 248
tusschen C en D		1 : 331
D	1 : 465	1 : 772
tusschen D en E	1 : 139	1 : 246
E	1 : 214	1 : 340
tusschen E en F	1 : 400	1 : 615
F	1 : 409	1 : 740
G	1 : 270	1 : 429
tusschen G en H		1 : 320.

Zooals men ziet, verkreeg de laatste veel kleinere waarden dan de eerste; maar de betrekkelijke komen toch tamelijk overeen. Beiden vinden de kleinste bij D en bij F. Tot het verkrijgen der verschillen bedienden zij zich van de ophthalmometerplaten, met eigen hand onder den hoek gebracht, waarbij ze verschil tusschen de twee kleuren meenden te constateeren. — Mijn spectroscoop voldeed voor dergelijke bepalingen uitnemend. De vergelijkingskleur (b. v. Na of enkelvoudig geel) wordt

1) Archiv f. Ophth. XIII. 2. S. 399.

2) Id. XVIII, 1. S. 72, waar ook de gecorrigeerde cijfers van Mandelstamm te vinden zijn. De bepaling van B, de juistheid waarvan Dobrowolsky zelf betwijfelt, is weggelaten.

ingezet met de enkelvoudige spleet (onderste halfrond), dezelfde golflengte met één der gekoppelde (de andere blijft gesloten), en deze kan door twee mikrometer-schroeven, gemakkelijk bereikbaar voor den waarnemer, én verschoven én vernauwd en verwijd worden. Overigens volgden wij de methode der juiste en onjuiste gevallen, bepalende het minimum, waarbij verschil herkend en het maximum, waarbij het niet herkend werd, en uit beiden het midden nemende [1]. Daarbij werden de verschillen, waarover men had te oordeelen, door vreemde hand ingezet, die, draaiende aan de andere schroef, ook telkens de intensiteit veranderde: zoodoende had de waarnemer eerst de intensiteiten gelijk te maken en dan over kleursverschil te oordeelen. De invloed der intensiteit op het oordeel laat zich niet elimineeren, wanneer men zelf ook de golflengte verandert, — wat bovendien minder wenschelijk is, wijl tijdens het veranderen der kleur contrast zichtbaar wordt (zie bl. 57), tengevolge waarvan men een oogenblik later, bij de contrôle, ook nog minder onbevangen oordeelt. Naar deze methode verkreeg ik op verschillende dagen als kleinste merkbaar verschil λ 0.0004 tot λ 0.0006 [2]. In vergelijkende proeven met den heer Straub bepaalden wij het beide voor λ 0.589 en voor λ 0.581, dat is voor zijn en voor mijn enkelvoudig geel, en daarbij bleek voldoende, dat hij gevoeliger was voor verschillen van het laatste, ik voor die van het eerste. Het schijnt dus wel, dat de grootste gevoeligheid bestaat voor het enkelvoudige

1) Vgl. G. E. Müller. Zur Grundlegung der Psychophysik. 1881. S. 63.

2) Om de snelle kleursovergangen in het geel en elders tot hun recht te brengen, moet, bij sterke lichtbron, de spleet nauw zijn: bij wijdere spleet verdeelen de merkbare verschillen zich ook over de aangrenzende kleuren.

geel. In D, in elk geval dus in de nabijheid van het enkelvoudige geel, hebben én Mandelstamm én Dobrowolsky, zoo als wij zagen, ook het kleinste merkbaar verschil gevonden, en een tweede minimum in F, zeker niet ver van het enkelvoudige blauw: hieromtrent zal ik eerst later, in verband met de vergelijkingen, die daartoe betrekking hebben, onze uitkomsten mededeelen. Het is niet vreemd, dat juist op de keerpunten, d. i. op de plaatsen, waar de enkelvoudige kleuren aan beide zijden in onderling tegengestelde overgaan, de grootste gevoeligheid voor verschillen wordt aangetroffen. In het blauw vonden ook König en Dieterici een minimum voor de fout m^2 en een tweede minimum König nabij D, Dieterici op zekeren afstand van D, nl. op ongeveer λ 0.570. Zou voor Dieterici wellicht het enkelvoudige geel in die richting verschoven zijn? Overigens is m_2 geen zuivere maatstaf voor het kleinst merkbare verschil.

Evenals het oordeel over geel onvolkomen is bij personen, die tot de tweede kategorie behooren, zelfs wanneer de kleurzin nauwelijks daalde, de gevoeligheid voor kleine verschillen afgenomen. Aldus bij

1. Blonk. Zoekende naar personen der tweede kategorie, gaf ik de anisochromatische tafels van Stiling te ontcijferen, en het kwam mij voor, dat Blonk daarin bij normalen ietwat achterstond (verg. D. VIII. bl. 179). In overeenstemming daarmede eischte de Natrium-vergelijking Tl 53.3: Li 46.7. Toch bleek later, dat hij al de tafels van Stilling (tweede uitgaaf) kon ontcijferen, dat hij ook met Holmgren's proeven nauwelijks blijk gaf van verminderden kleurzin en met de dubbele vochtprismen, die mengsels van geel en groen geven, niet of nauwelijks voor mij onderdeed. Ook acht hij zich in

'tbezit van een voortreffelijken kleurzin. Maar met de spectrale kleuren, naar de zoo even beschreven methode, was het kleinst merkbaar verschil bij hem toch aanzienlijk grooter dan normaal. Terwijl zijn geel op λ 0.5902 gevonden werd, bedroeg het kleinst merkbaar verschil ruim 0.0013, voor mij, bij dezelfde gelegenheid bepaald, slechts 0.00051.

2. Een overeenkomstig geval leverde de med. stud. Van Dugteren. Met eenige inspanning ontcijfert hij al de tafels van Stilling, weet echter, dat hij, vooral bij avondlicht, groen en geel niet zoo gemakkelijk onderscheidt als anderen. De vergelijking Tl 51.6 + Li 48.4 = Na 29.5 rangschikt hem in de tweede kategorie. Als enkelvoudig geel wijst hij λ 0.5906 aan; 0.5926 is hem te rood, 0.589 te groen. De gemiddelde fout m_1 bij de poging, om de beide kleuren volkomen gelijk te maken, bedroeg λ 0.0003. De kleinste merkbare verschillen van zijn geel, naar de methode der juiste en onjuiste gevallen, steeg tot 12.5 schaaldeelen, terwijl het voor mij zelven, die ze met hem afwisselend voor mijn geel bepaalde, slechts 4.8 bedroeg.

3. Veel grooter was het kleinste merkbaar verschil bij Snel, med. st., die als Na-vergelijking Tl 48.7 + Li 51.3 = Na 26.8 gevonden had, maar de tafels van Stilling moeilijk en slechts voor een deel ontcijferde, en wiens zwakke kleurzin zoowel bij de proeven van Holmgren als met de vochtprismen was aan den dag opkomen.

In den kleurcirkel wijst hij het juiste geel aan, maar uit de spectraalkleuren is zijn keus onzeker en wankelt tusschen λ 0.5736 en λ 0.543 gemiddeld λ 0.555.

Bij vergelijking met λ 0.5892 Na vindt hij λ 0.596 daarmee geheel overeenkomstig, maar λ 0.6, bij gelijke intensiteit, stellig roodachtig en, door contrast, 0.589

naar het groene zweemend, voorts λ 0.584 volkomen als Na, λ 0.573 eerst even groen, 0.55 groener en bleeker en daarnaast, door contrast, 0.589 nu roodachtig.

Op de merkbare verschillen heeft de lichtintensiteit een grooten invloed. Bij spleetwijdte van 0.15 mM. is λ 0.589 geel, 0.58 reeds groenachtig, 0.578 duidelijk groen, waarbij 0.589 door contrast weer roodachtig wordt; bij spleetwijdte van 0.62 mM. is 0.578 nog volkomen gelijk aan 0.589 en is eerst 0.552 ontwijfelbaar bleek en groen.

De hier blijkbaar zeer groote invloed der intensiteit ontbreekt ook bij normalen kleurzin niet, waar bij groote intensiteit het geel zich ten koste van het groen uitbreidt (Chodin). Naar de zijde van het rood is, zoowel bij zwakken als bij normalen kleurzin, de invloed der intensiteit veel geringer.

Men verlieze overigens niet uit het oog, dat verschillen van intensiteit, zonder verschil van golflengte, bij zeer zwakken veeleer dan bij normalen kleurzin als verschillen van kleur worden opgevat: men late dus, om zuivere resultaten te verkrijgen, bij verschillen van golflengte eerst over kleur oordeelen, nadat de intensiteiten zijn gelijk gemaakt. En ook nu zou verschil in saturatie nog kunnen in 't spel zijn. Er is dus, in gevallen als dat van Snel, wel aanleiding te vermoeden, dat er meer dan zwakke kleurzin bestaat, dat men met volkomen kleurblindheid, d. i. met een zuiver dichromatisch stelsel te doen heeft. Maar het tegendeel blijkt voldoende, wanneer, zooals in het onderhavige geval, uit een mengsel van spectraal rood en blauw geen neutraal wit of grijs, maar alleen purper en rosa te verkrijgen is, terwijl voorts in het spectrum de neutrale streep ontbreekt, — het groen door blauw in blauwgroen overgaat.

De roodblinde, met zuiver dichromatisch stelsel, wijst in het spectrum ook nog zijn geel aan, — soms zelfs met kleine gemiddelde afwijking.

Zoo kwam

4. de med. stud. Wenckebach, een volslagen roodblinde:

bij matige intensiteit (spleet 0.2 mM.) op gem. λ 0.5763 met $m_1 = 0.005$,

bij grootere intensiteit (spleet 0.8 mM.), op gem. λ 0.5794 met $m_1 = 0.005$.

Uitgaande van λ 0.589 als vergelijkingskleur noemde hij
λ 0.596 (bij gelijke J) daaraan volkomen gelijk,
„ 0.6 iets krachtiger van kleur,
„ 0.62 gloedrijker,
„ 0.63 tot λ 0.65 rooder en rooder.

Werden de vergelijkingen bij veel grooter of veel kleiner intensiteit gemaakt, zoo waren de verschillen minder merkbaar.

Weder uitgaande van λ 0.589, bij vergelijking met kleiner golflengten, luidde het oordeel:
λ 0.584 daaraan volkomen gelijk.
„ 0.573 iets bleeker: 0.589 heeft meer gloed.
„ 0.56 bleeker.
„ 0.589 herkent hij weer terstond als gelijk.
„ 0.56 is bleeker.
„ 0.54 tot 0.52 steeds bleeker.

Bij groote intensiteiten worden de verschillen kleiner.

Den groenblinde laat ook het oordeel omtrent saturatie in den steek. Een voorbeeld:

5. Van der Vlies (med. st.) een groenblinde, met zuiver dichromatisch stelsel.

Uitgaande van λ 0.589 worden vergelijkingen gemaakt

met grootere golflengten, tot λ 0.63, 0.66, 0.69: zijn de intensiteiten gelijk gemaakt, dan ziet hij de kleuren, 0.589 typisch geel en 0.69 typisch rood, volmaakt gelijk, — bij geringe intensiteit λ 0.69 wellicht iets „kleuriger" (meer gesatureerd).

Bij vergelijking met kleiner golflengten is λ 0.584 nog volkomen gelijk aan λ 0.59, maar, te beginnen met 0.578, wordt het wat bleeker en bij 0.52 spreekt hij van een vuil wit, waarnaast λ 0.589 hem door contrast rood voorkomt. Zijne neutrale ligt op ongeveer λ 0.497.

Toch wist hij in het spectroscoop het geel vrij wel aan te wijzen. In 10 bepalingen koos hij gem. λ 0.594, als maximum 0.607, als min. 0.587, met gemiddelde afwijking van de gemiddelde m_1 = λ 0.0053. Bij die bepalingen werd hij geleid door de intensiteit. Waar ook de aanwijzing van deze ontbreekt, zooals bij het maken der vergelijking Li + Tl = Na, is ieder mengsel hem even goed van kleur, terwijl hij Na naar de intensiteit richt.

Bovenstaande gevallen vormen een reeks, waarin de onderscheiding der kleuren in de warme zône van het spectrum zich meer en meer verliest.

VI.

DE VERHOUDING DER INTENSITEITEN VAN MENGSELS, TOT DE SOM HARER COMPONENTEN.

(Onder medewerking van Dr. SULZER).

In de vergelijkingen der mengsels van Li + Tl met Na (of geel), bepaalden wij niet slechts de proportie van Li : Tl, maar tevens de intensiteit van het verkregen Na.

De vraag deed zich nu voor, welke de verhouding is der intensiteiten van dit mengsel $J_{Li \supset Tl}$ tot die van de componenten J_{Li} en J_{Tl}, en meer bepaaldelijk tot hare som $J_{Li} + J_{Tl}$. Het gold de bepaling van den coëfficiënt

$$J_{Li \supset T} : J_{Li} + J_{Tl}.$$

De vergelijkingen zelven geven ons al dadelijk de intensiteiten van het mengsel als $J_{Li} \supset J_{Tl} = Q\ Na$. Wij hebben, om den coëfficient te vinden, nu ook slechts J_{Li} en J_{Tl} als J_{Na} te berekenen. Voor deze berekening werd gebruik gemaakt van de reeds vroeger bij de hier vermelde personen bepaalde

$$10\ Na = x\ Li \text{ en}$$
$$10\ Na = y\ Tl.$$

In nevenstaande tabel vindt men de op die wijze verkregen resultaten, en wel voor gevallen van normalen kleurzin.

a, *b*, *c* zijn de hoeveelheden, ontleend aan de groote tabel (Deel VIII bl. 178),

d, *e*, *f* de correspondeerende intensiteiten: *f* gevonden, *d*, *e* berekend als Na.

g de som van *d* en *e*.

De laatste kolom geeft den gezochten coëfficiënt.

NAMEN.	a Q Li⊃Q	b Tl =	c Q Na'	d JLi	e JTl	f JLi⊃Tl	g JLi + JTl	h Coëff.
ı	69	31	27.7	20.8	17.5	27.7	38.3	0.72
'a	68.9	31.1	24 8	19.5	24 5	24.8	44	0.564
a	69	31	23.5	14.1	19.2	23.5	33.3	0.706
ı O. D. . . .	69.5	30.5	23.0	20 7	23.6	23.	44.3	0.52
) 1)	70.2	29.8	24.6	12.5 (?)	14.3	24.6	26.8	0.91 (?)
ıtere bepaling .	69.6	30.4	24.9	17.8	14 5	24.9	32.3	0.77
:. , ...	71.	29.	22.	20	17.8	22	37.8	0.582
L.	71.1	28.9	26.2	17.7	20.8	26.2	38 5	0.68
B.	71.2	28.8	23.2	14.8	13.5	23.2	28.3	0.82
'u	71.7	28.3	19.6	17.7	11.8	19.6	29.5	0.664
. . . .	73.	27.	21.4	15.2	18.8	21.4	34	0.63
ı	74.3	25.7	21.6	17.4	13.	21.6	30.4	0.71
ıtere bepaling .	75.4	24.6	22.3	16.7	18.2	22.3	34.9	0.64
:.	77.1	22.9	19.7	14.6	12.2	19.7	26.8	0.735
)	77.1	22.9	19.3	15.5	10.5	19.3	26	0.742
ı . . . . . O. S.	80.2	19.8	20.	17.3	13.9	20.	31 2	0.64
emiddeld	72.4	27.	22.6					0.687
leld { 7 bovenste	69.8	30 2	24 6					0.649
7 onderste	74.9	25.1	20.7					0.706

Deze tabel leert ons, dat de intensiteit van het mengsel (kolom c en f) constant kleiner is dan de som van de intensiteiten der componenten g: de coëfficiënt verschilt van 0.52 tot (0.91 ?) 0.82, is gemiddeld 0.678.

De gevallen zijn gerangschikt naar de hoeveelheid Li (a) in de Na-vergelijking: met het stijgen van Li

1) Bij de berekening der gemiddelden is de eerste bepaling van Do waarin kolom d blijkbaar onjuist is, en de tweede van En niet in aanmerking genomen.

neemt nu blijkbaar de intensiteit van het mengsel (c) vrij regelmatig en betrekkelijk snel af, zooals ook de gemiddelden van de 7 bovenste en 7 onderste gevallen aantoonen. Ook in den coëfficiënt (h) laat zich die invloed, hoewel minder duidelijk, gevoelen: voor de 7 bovenste bedraagt hij gemiddeld 0.649, voor de 7 onderste 0.706.

Tegen de voor de tabel gevolgde berekening van JLi en JTl (d en e) naar de uitkomsten, vroeger bij de vermelde personen voor 10 D = x Li en 10 D = x Tl verkregen, geldt intusschen die bedenking, dat op de verhouding der intensiteiten van Na tot Li en Tl de absolute intensiteit, waarbij de vergelijking geschiedt, niet zonder invloed is. Wij besloten daarom, de hoeveelheden Na ook direct te bepalen door vergelijking met de in ieder geval gevonden hoeveelheden Li en Tl, waardoor aan genoemd bezwaar wordt te gemoet gekomen. Dit geschiedde in 9 gevallen. De uitkomsten zijn opgenomen in onderstaande tabel, — zoover dezelfde personen hier weder voorkomen, onder gelijke nommers als op de vorige tabel:

a, *b*, *c* zijn weder de cijfers der Na-vergelijking, voor deze tabel op nieuw bepaald (daarom eenigszins afwijkend van de vorige), en wel te gelijk met

d, *e*, *f*, de intensiteiten, — voor 6 en 10 alles te gelijk voor de beide tabellen.

N A M E N.	a.	b.	c.	d.	e.	f.	g.	h.	k. Berekende coëff. der vorige tabel.
	QLi ⊃ QTl = QNa'			JLi	JTl	JLi⊃Tl	JLi + JTl	coëff.	
Ka.	70.7	29.3	28.4	22.8	19.5	28.4	42.3	0.671	0.72
Wa.	69	31	25.6	30.5	21.2	25.6	51.7	0.50	0.564
Su. O.D. .	70.5	29.5	25.8	22.7	28.7	25.6	51.4	0.502	0.52
Do.	69.7	30.3	23.9	14.8	17.8	23.9	32.6	0.73	0.77
Er.	71	29	22	18.9	19.2	22.	38.1	0.577	0.582
v. L.	71.1	28.9	27.	21.	22	27	43.	0.603	0.68
Ei. . , . . .	73.	27.	21.4	19.6	24.	21.4	43.6	0.49	0.63
En.	75,4	24.6	20.4	16.72	18.2	22.3	34.9	0.64	0.71
Su. O.S. .	80	20.	21.3	20.9	19.3	21.3	40.2	0.53	0.64
middeld . .	72.5	27.5	24.0					0.583	0.646

Het blijkt, dat op deze tabel de coëfficiënt, zonder uitzondering, nog kleiner is dan op de vorige:

het maximum hier 0.73 is dáár 0.77
„ minimum » 0.49 „ 0.52
„ gemiddelde „ 0.583 „ 0.687.

En in de beide tabellen valt de grootste coëfficiënt op Do, en komen in 't algemeen ook de kleinere coëfficiënten op dezelfde personen voor. Dat het mengsel van Li en Tl in intensiteit ver onderdoet voor de som der intensiteiten van Li en Tl afzonderlijk, kan, bij die constantie der resultaten, wel aan geen twijfel onderhevig zijn.

Evenals met Na, maakten wij vroeger de vergelijkingen van Li ⊃ Tl met al de andere tusschen Li en Tl gelegen spectraalkleuren *S* (Zie II bl. 13 en 14 fig. 2), waarbij ook telkens de aan het mengsel beantwoordende intensiteit dier kleuren werd opgenomen. En, op gelijke wijze als voor de Na-vergelijking, nu ook voor de vergelijkingen met de andere spectraalkleuren de intensiteiten der componenten bepalende, verkregen wij den coëfficient J_{Li} ⊃ Tl : $J_{Li} + J_{Tl}$ voor iedere kleur, en wel bij directe bepaling van J_{Li} en J_{Tl} uit de in ieder geval gevondene q′ Li en q Tl. Een voorbeeld daarvan geeft de onderstaande tabel, betreffende mijn rechter oog.

a Kleur *S* λ	b QLi	⊃ m_1	QTl	= c Q_S	d JLi	JTl	e JLi Tl	f : JLi +	g JTl Coëf.
0.6705 (Li)	100		0	100	100	0	100	100	1
0.660	99.5		0.5	70.2		1.1	70.2		
0.654	99		1.0	62.7	57.4	1.9	62.7	59.3	
0.642	98.2		1.8	38.1	37.1	3.6	38.1	40.7	0.936
0.633	96.6	0.3	3.4	27.7	27.8	6.5	27.7	34.3	0.808
0.610	87.6	1.15	12.4	20.7	16.7	10.3	20.7	27	0.767
0.590	70.7	1.7	29.9	23.9	14.4	19	23.9	33.4	0.716
0.5685	43.5	1.5	56.5	36	10.9	32	36	42.9	0.839
0.5495	20.7	0.1	79.3	59	8.2	60.4	59	68.6	0.86
0.542	3.8	1.4	96.2	78	1.7	77.8	78	79.5	0.981
0.535 (Tl)	0		100	100				100	1.000

Kolom *a* geeft de golflengten aan der vergelijkingskleuren, beginnende met Li λ 0.6705 en eindigende met Tl λ 0.535.

Kolom *b* de hoeveelheden der componenten Li en Tl, benevens m_1.

c die der gemengde kleur,

d de intensiteiten van kolom *b*, uitgedrukt in intensiteiten van *S*,

e de intensiteit van het mengsel,

f de som der intensiteiten, voorkomende onder *d*, en eindelijk *g* den verlangden coëfficiënt.

Voor λ 0.660 en 0.654, waarbij in de vergelijking nog nauwelijks Tl voorkomt, verdient de coëfficiënt nog geen vertrouwen en is daarom weggelaten. Wij zien hem nu dalen tot bij λ 0.590, nagenoeg het Na-geel, om vervolgens weer te stijgen tot λ 0.535, alwaar hij voor enkel Tl, evenals boven voor enkel Li, gelijk 1 wordt. De coëfficient is dus het kleinst, waar het rood van Li en het groen van Tl elkander volkomen neutraliseeren en slechts het geel overblijft.

Wil men, in overeenstemming met de abscis, de hoeveelheden (spleetwijdten) voor het interferentie-spectrum kennen, zoo heeft men de dispersie van Tl naar die van Li te reduceeren en de som van Li en van het gereduceerde Tl weer op 100 terug te brengen. [1]) Men

1) Zij Ql de met het dioptrisch spectrum voor een bepaalde kleur *S* gevonden Lithium-component;

Qt de daarvoor gevonden Thallium-component;

de som Ql + Qt = 100.

Voorts, Jtl de intensiteit van het mengsel;

Jl die van Li,

Jt die van Tl, —

allen gevonden door vergelijking met *S*.

Zoo is de coëfficiënt:

$$Jtl : (Jl + Jt).$$

Wij vinden echter, voor de dispersie van Li = 1, die van Tl = 1.9. Bij reductie van Tl op de dispersie van Li wordt dus de som der componenten:

$$Ql + (Qt : 1.9) = x,$$

en na vermenigvuldiging met 100 : x = n

$$n. Ql + (n. Qt : 1.9) = 100$$

of $Q'l + Q't = 100.$

Aan deze hoeveelheden nu beantwoorden de intensiteiten:

krijgt dan een andere verhouding van Li : Tl en kan ook op gelijke wijze de hoeveelheden (spleetwijdten) van Na en van elk der andere kleuren, in verband met hare resp. dispersies, reduceeren. Met het oog op de abscis, — een deel van het interferentie-spectrum, — lag die reductie in mijn plan, en is ze ook wel aan te bevelen. Terwijl bij die reductie de coëfficiënt der intensiteiten (g) echter dezelfde blijft, heb ik het hier overbodig geacht.

Van gelijke bepalingen bij andere personen vindt men de resultaten op onderstaande tabel:

	I		II	III		IV	V		V	VI		V
λ	**Donders.**		**Straub.**	**Kagenaar.**		**Waelchli.**	**Sulzer.**		**Sulzer.**	**Blonk.**		
	O.D.	O.D.		O.D.	O.D.		O.D.	O.S.	O.D.			
0.6705 (Li)	1.000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.633	0.808	0 858	0.93	0.77	0.88	0.88	0.96	0.93	0.8	0.68	0.62	0.79
0.610	0.767	0.783	0.75	0.57	0.63	0.78	0.75	?	0.77	0.67	0.54	0.61
0.5895	0.716	0.712	0.63	0.64	0.66	0.44	0.45	0.54	0.50	0.49	0.61	0.93
0.5685	0.839	0.798	0.73	0.69	0.73	0.723	0.63	0.69	0.67	0.88	0.70	1.03
0.5495	0.86	0.833	0.81	0.89	0.88	0.833	0.78	0.90	0.79	1.—	0.90	0.92
0.542	0.981	0.951	0.95	0.96	0.96	0.996	0.92	0.87	0.90	0.98	1.01	0.89
0.535 (Tl)	1.000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

---

n Jl = J'l en n Jt = J't,

die, gedeeld door de dispersie δ van S, geven

J''l = J''l : δ

en J''t = J't : δ,

welke de op het interferentie-spectrum gereduceerde waarden zijn van Jl en Jt, bij de waarneming gevonden.

In de eerste plaats vestigen wij de aandacht op I—V, allen met normalen kleurzin: (op VI en VII met zwakken kleurzin komen wij later terug). In alle vergelijkingen vinden wij den coëfficiënt < 1, het mengsel dus van mindere intensiteit dan de som der intensiteiten van de componenten. Met een enkele uitzondering (III) valt de kleinste coëfficient op λ 0.589, d. i. evenals bij mij op het natrium-geel: hier wordt bij Dr. W a e l c h l i en op één der oogen van Dr. S u l z e r zelfs kleiner dan 0.5; het maximum 0.716 wordt bij mij gevonden. Bij I, III en V zijn de bepalingen tweemaal geschied, op verschillende tijden: men zal zich overtuigen, dat ze betrekkelijk niet veel van elkander afwijken. Voor de beide oogen van S u l z e r geschiedden de bepalingen op één en denzelfden dag, later nog eens afzonderlijk voor het rechter oog: de overeenstemming der beide bepalingen op het rechter oog zijn ook zeer bevredigend. 't Is meer dan men verwachten zou, wanneer men in aanmerking neemt, dat van de drie vergelijkingen, die den coëfficiënt moeten leveren, slechts ééne ($qLi \supset q'Tl = Qs$) isochromatisch, twee ($qLi = s$ en $q'Tl = s$) heterochromatisch zijn. Zoo blijkt dan op nieuw, dat men bij verschil van kleur nog tamelijk wel over gelijkheid van intensiteit kan oordeelen. In het maken eener heterochromatische vergelijking ligt een schijn van willekeur. 't Is alsof men even goed een andere verhouding kiezen konde. Maar wijzigt men de intensiteit van een der beide kleuren, dan houdt spoedig alle twijfel op en heet het: nu *stellig* te donker, nu *stellig* te licht. Tracht men zich van zijn sensaties rekenschap te geven, dan vindt men de eene kleur van nature heller, de andere donkerder, Na bijv. heller dan Tl, beide heller dan Li. Bij de vergelijking nu moet de helle als door een floers getemperd worden — zoo wordt een befloersd

geel gelijk aan een helder rood —, en aanvankelijk is men geneigd, den lichtindruk van het eerste te laag te schatten. Om juist te oordeelen, mag het oog niet op een der beide kleuren verwijlen, moet veeleer met gelijke tusschenpoozen telkens van de eene op de andere overgaan, en meermalen ook de grens tusschen de beide kleuren, waar verschil van intensiteit door contrast het sterkst spreekt, heen en weer doorloopen. Vooral wachte men zich voor vergelijking bij excentrisch zien: de resultaten zijn dan geheel andere, en om deze is het ons hier niet te doen.

Bruecke [1]) onderwierp de heterochromatische vergelijkingen aan een zeer degelijk onderzoek. Ik vereenig mij geheel met zijn meening, dat de methode van Dove in beginsel de beste is. Nu is het mij gelukt een weg te vinden, om ze op de vergelijkingen van spectraalkleuren in het spectroscoop toe te passen. [2]) Maar de toepassing eischt groote zorg en de resultaten, bij directe vergelijking van aan elkander grenzende vlakken verkre-

---

1) Sitzungsberichte d. K. Akad. d. Wiss. B. LXXXIV. 3te Alth. 1881.

2) Met een woord zij hier de wijze van toepassing vermeld. Bij de Maxwell'sche methode, — het oog aan de oculairspleet, waarin het spectrum zich vormt, — herkent men bij nauwe lichtspleet al de oneffenheden van het als lichtbron gebezigde matte glas en ziet, in den lichtcirkel van het netvlies, ondoorschijnende strepen als vrij scherp omschreven zwarte lijnen. Nu gelukt het een stelsel van strepen te maken, waarvan in het midden de ondoorschijnende voor de beide gekoppelde spleten naast elkander vallen en de gekleurde dus met elkander afwisselen: bij de relatieve wijdten der spleten, waarbij de strepen het minst zichtbaar worden, kunnen nu, naar het beginsel van Dove, de beide kleuren geacht worden gelijke intensiteit te hebben. Verg. Kon. Akad. van Wetenschappen. Proces-verbaal van 27 October 1883.

gen, schenen alleszins voldoende. Die uitkomsten, door Fraunhofer [1]) bij directe vergelijking verkregen, gaven overigens geen hoogen dunk van deze methode. Maar hij deed zijn proeven bij zonlicht, dat tijdens de bepalingen kan veranderen, en aan de constantie van zijn olielampje, dat het gereflecteerd vergelijkingslicht moest leveren, twijfelt hij zelf: in mijne bepalingen was de waarschijnlijke fout veel kleiner.

Om intusschen allen twijfel uit te sluiten, liet ik, naast de gewone, in de meeste gevallen ook zoodanige vergelijkingen maken van Jli = J*s* en Jtl = J*s*, waarbij de Intensiteit van *s* stellig verklaard werd te groot te zijn, en telkens bleek, in de nabijheid van D, de coëfficiënt ook daarbij nog beneden 1 te blijven. Alléén in de nabijheid van Tl en van Li, waar bij de gewone vergelijkingen de coëfficient reeds tot de eenheid nadert, werd hij dan $>$ 1.

Er zij nog bijgevoegd, dat altijd minstens twee volle reeksen van waarnemingen werden gemaakt, een opklimmende en een neerdalende, met vermeerdering van het aantal, waar een groote nauwkeurigheid werd verlangd, en dat voor ieder afzonderlijk de coëfficiënt werd berekend en uit de coëfficienten de gemiddelde genomen. Om een juiste voorstelling van de waarnemingen en berekeningen te geven, zij het mij geoorloofd, hier een enkele bepaling in haar geheel op te nemen.

1) Fraunhofer, in Astronomische Abhandlungen van Schumacher. 1848. S. 35.

λ	Hoeveelheden van Tl	Li	Gem. Tl	m_1	Intensiteiten van Tl ⊃ Li	Tl	< Tl	Li	< Li	Tl + Li	<Tl+ <Li	$\frac{\text{Tl} \supset \text{Li}}{\text{Tl} + \text{Li}}$	Gem.	m_1	$\frac{\text{Tl} \supset \text{Li}}{< \text{Tl} + < \text{Li}}$	Gem.	m_1
0.660	1.0	99.0			73.5	6.4		83.2		89.6		0.823	0.8315	0.0085			
	1.0	99.0			67.3	7.2	6.5	73.8	62.4	81.0	68.9	0.840			0.976		
0.633	2.9	97.1			37.1	5.5		23.0		38.5		0.963					
	2.9	97.1			29.3	9.0	6.9	28.5	28.1	37.5	35.0	0.781			0.838		
	3.0	97	2.88	0.072	26.2	10.0	6.0	26.0	22.6	36.0	28.6	0.728	0.797	0.0826	0.917	0.864	0.027
	2.9	97.1			28.7	9.8	6 9	32.0	26.9	41.8	33.8	0.687			0.850		
	2.7	97.3			23.2	8.7	5.5	23.3	21.8	32.0	27.3	0.725			0.849		
0.610	12.7	87.3	12.3	0.4	29.8	15.9		24.1		40.0		0.745	0.769	0.0245			
	11.9	88.1			29.6	13.3	11.0	24.0	22.4	37.3	33.4	0.794			0.886		
0.5892	29.5	70.5			24.0	27.1		28.5		55.6		0.432					
	29.8	70.2	29.5	0.2	26.3	30.1	19.4	19.5	16.1	49.5	35.5	0.528	0.503	0.047	0.741	0.733	0.0085
	29.2	70.8			27.0	29.0	20.5	20.1	16.8	49.1	87.3	0.549			0.724		
0.5884	34.0	66.0	32.1	1.9	23.7	31.6		19.9		51.5		0.460	0.504	0.044			
	30.2	69.8			26.9	28.1	21.9	20.9	18.1	49.0	40.6	0.549			0.662		
0.5685	57,2	42.8			37.9	41.4		19.0		60.4		0.626					
	57.1	42.9	57.43	0.38	36.2	36.0	27.4	14.9	8.9	50.9	36.3	0.711	0.673	0.032	0.998	0.888	0.110
	58.0	42.0			35.8	31.4	28.5	21.0	17.6	52.4	46.1	0.683			0.777		
0.5495	84 2	15.8	49.8	4.4	58.9	62.3	48.7	13.6		75.9		0.776	0.791	0.015			
	75.5	24.5			56.0	57.6		11.9	8	69.5	56.7	0.806			0.988		
0.541	91.1	8.9	91.2	0.1	79.3	82.1		3.7		85.8		0.924	0.896	0.028			
	91.3	8.7			88.0	91.5	68.5	9.6	4.8	101.5	73.3	0.867			1.2005		

Is de intensiteitscoëfficiënt van het mengsel nauwelijks meer dan 0.5 bij Sulzer (rechter oog) en bij vele anderen, dan moet de intensiteit van één der componenten soms grooter zijn dan die van het mengsel van beide. Zoo leeren ook de cijfers:

	Jmengsel	JTl	JLi
Voor Sulzer O.D. bij λ 0.5892	24	27.1	28 5
O.S. ,,	22.1	22.9	23.9
later O.S. ,,	21.3	19.3	20.9
Waelchli ,,	24.6	22.8	26 6
vroeger ,,	25.6	21.2	30.5

Voor anderen geldt zulks niet. Zoo vonden:

Donders bij λ 0.5892	24.88	17.1
Kagenaar ,, ,, ,,	30.25	21.4

Die uitkomst kan nu ook op meer directe wijze getoetst worden. Heeft men de Na-vergelijking ingezet, dan sluit men de Li-spleet en brengt de enkelvoudige op Tl, met gelijke Intensiteit als de Tl-spleet. Terwijl die dus aan elkander gelijk zijn, wordt nu de Li-spleet geopend. De eerste indruk bij Sulzer, rechter oog, was, dat het mengsel rooder en heller was dan het Tl; maar na eenige seconden verdwijnt het roode en zinkt de helderheid tot en zelfs onder die van het Tl. Hetzelfde vonden Dobberke en vooral Waelchli. Ook voor mij werd bij het openen der Li-spleet de kleur roodachtig, om dan spoedig voor Na-geel plaats te maken, dat nu echter zeer bepaald lichtsterker was en bleef dan het Tl, — in overeenstemming met mijn grooteren intensiteits-coëfficiënt van het mengsel. Hetzelfde gold voor Kagenaar. Maar bij dezen komt het voor, dat de Li-component dien van het

mengsel in intensiteit overtreft, nl. bij λ 0.61, waarbij die van Li 26, die van het mengsel 25 *S* bedraagt, en bij λ 0.633, met respectieve intensiteiten van 35.5 en 31.5: Kagenaar had ook, zooals wij vroeger zagen, $J^{Li} : J^{Na}$ bijzonder groot. Zooals de cijfers uitwijzen, moet bij Sulzer en Waelchli ook de Li-spleet door het toetredende Tl soms in intensiteit verliezen. Zeer treffend is de snelheid, waarmee het overwegende der bijkomende kleur verdwijnt en daarbij tevens de intensiteit van het mengsel afneemt: het proces verdient een nadere studie. — De proeven werden niet slechts genomen met de verhouding Li : Tl der Na-vergelijking, maar voor al de overige vergelijkingen, op de tabellen vermeld. Van geringere hoeveelheden Li, bij het Tl gevoegd, kon ik op het oogenblik zelf den invloed op kleur en intensiteit nog duidelijk waarnemen, maar bij het verdwijnen van den invloed op de kleur werd die op de intensiteit ook twijfelachtig. In het algemeen beantwoorden ook bij anderen de uitkomsten aan hetgeen zich uit de tabellen liet voorzien.

Het hier medegedeelde omtrent de relatieve intensiteit van kleurmengsels had alléén betrekking tot normalen kleurzin. Ter verlijking werden intusschen op de tabel (bl. 76) ook Blonk en Snel opgenomen, waarvan de eerste een verminderden, de laatste een zeer zwakken kleurzin heeft. Van beide bezitten wij twee reeksen van waarnemingen, even uitvoerig als die van Sulzer (tabel, bl. 80); maar het zal voldoende zijn, hier de resultaten van de zuivere inzettingen en de gemiddelden aan te geven.

λ	Blonk.			Snel.		
	Reeks 1.	Reeks 2.	gem.	Reeks 1.	Reeks 2.	gem.
0.633	0.68	0.62	0.65	0.79	0.88	0.835
0.610	0.65	0.54	0.595	0.61	0.72	0.665
0.5895	0.49	0.61	0.55	0.93	0.85	0.89
0.5685	0.88	0.70	0.79	1.03	0.93	0.98
0.5495	1.00	0.90	0.95	0.92	0.86	0.89
0.542	0.98	1.01	0.995	0.89	0.97	0.93

Men ziet, dat bij Blonk de vergelijkingen tamelijk met die van normalen kleurzin overeenkomen, in het algemeen met wat grootere coëfficiënten; maar dat zij bij Snel zeer onregelmatig zijn en veel meer tot de eenheid naderen. Zij vormen daarmede den overgang tot de coëfficiënten bij rood en groenblinden, die zóó weinig van de eenheid verschillen, dat wij geen recht hebben aan te nemen, dat de intensiteiten der mengsels niet aan die van de sommen der componenten zouden gelijk zijn. Dit blijkt uit onderstaande tabel, die ons de coëfficiënten geeft van één normale en vijf kleurblinden: terwijl deze laatsten de kleuren niet onderscheiden, kon niet van *S* worden uitgegaan, maar moesten bepaalde hoeveelheden Tl en Li aan de vergelijkingen worden ten gronde gelegd.

		Tl $\supset$ Li = S			Tl = S		Li = S		C
v. Genderen Stort.	normaal.	90	10	34.1	90	33.9	10	2.4	0.
		30	70	26.1	30	21.7	70	19.1	0.
v. Elfrinkhof . . .	roodblind.	90	10	67.0	90	67.4	10	0.8	0.
		30	70	29.2	30	27.2	70	2.6	0.
		10	90	14.5	10	11.8	90	3.5	0
		5	95	12.1	5	6.8	95	4.9	1.
v. d. Weijde.	„	5	95	11.06	5	7.62	95	3.94	0.
Wenckebach	„	5	95	6.88	5	3.8	95	3.4	0.
		5	95	7.98	5	4.26	95	3.3	1.
v. d. Zijp	groenblind.	90	10	40.4	90	30.7	10	2.3	1.
		30	70	23.3	30	12.8	70	8.1	1
Klinkert.	„	30	70	22.8	30	12.1	70	11.2	0

Bij van Genderen Stort alléén, die normalen kleurzin heeft, is de coëfficiënt van 30 Tl $\supset$ 70 Li ver beneden de eenheid, nl. 0.638, dus overeenkomende met dien van mij en anderen met normalen kleurzien.

Bij de drie volgende, allen roodblinden, is de groote coëfficiënt alléén bij Li 90 en Li 95 van beteekenis, omdat daarbij eerst de intensiteit tegenover die van Tl in aanmerking komt: daarbij nu verschillen de coëfficiënten slechts van 0.947 tot 1.036 en bewegen zich dus om de éénheid

Bij de twee laatste, groenblinden, heeft men slechts op die van 70 Li $\supset$ 30 Tl te letten, een combinatie, die bij normalen een coëfficiënt van ongeveer 0.6 geeft en hier in de beide gevallen $>$ 1 is en dus althans als 1 mag worden beschouwd.

Het ligt voor de hand, deze uitkomst bij kleurblinden

met de gelijkheid van het karakter der beide kleuren Tl en Li, die beide voor hen tot de warme kleur behooren, in verband te brengen.

Na al het medegedeelde kan er wel geen twijfel bestaan omtrent het resultaat, dat, wanneer rood en groen elkander neutraliseeren, de intensiteit aanzienlijk geringer is dan de som van die der beide.

Die uitkomst verraste mij.

Bij proeven, reeds vroeger met Dr. Waelchli genomen, was ons gebleken, dat het wit, uit geel en indigo of paars gevormd, de component van geel ver overtrof en mocht geacht worden in intensiteit gelijk te staan met de som der intensiteiten van geel en paars. Te voren had Weinhold [1]) bij soortgelijke proeven reeds een gelijk resultaat verkregen, en ook Bruecke [2]) meende zich overtuigd te hebben, dat niet spectrale kleurenparen (hij zegt het uitdrukkelijk van rood,) en blauw een mengsel vormen, dat in intensiteit gelijk staat met de som van die der componenten.

Over de beteekenis van het voor mengsels van Tl en Li thans wel geconstateerde feit zal ik niet uitweiden, alvorens soortgelijke vergelijkingen voor de combinaties der verschillende spectraalkleuren, zoowel van de aan elkander grenzende enkelvoudige, als van de verder uiteengelegene met de vereischte nauwkeurigheid te hebben verricht.

Voorloopig moge gewezen worden op mijne mededeeling [3]), dat, evenals voor mengsels van Li-rood en Tl-groen, de intensiteiten van mengsels van Na-geel (D

---

1) Poggendorff's Annalen B. II. N. F., 1877, S. 631.

2) Sitzber. K. Akad. der W. 1882. B. LXXXIV, Abth. 3. S. 440.

3) Kon. Akad. v. Wetenschappen. Zitting van 29 Dec. 1883.

van Fraunhofer) en blauwgroen (λ 0.503) geringer zijn dan de som van de intensiteiten der componenten (Waelchli, Straub, Donders), terwijl later gebleken is, dat voor mengsels van Na en Li de coëfficiënt niet of nauwelijks van de eenheid afwijkt. Voor mengsels van rood en blauw of indigo (die in saturatie altijd ver beneden het violet blijven) gold dit evenwel niet (Donders, Straub).

DE AFSTOMPING DER GEHOORZENUW DOOR GELUIDSINDRUKKEN.

DOOR

Dr. A. HUIJSMAN.

Bij mijne studiën over de physiologie van het gehoorzintuig, werd mij door Prof. Donders op verschillende leemten in onze kennis omtrent dat onderwerp gewezen, en wel in het bijzonder — op onze onvoldoende kennis van de vermoeienis of afstomping der gehoorzenuw, onder den invloed van verschillende geluidsprikkels. Inderdaad, terwijl de afstomping der gezichtszenuw met groote zorg werd onderzocht en bij dat onderzoek belangrijke uitkomsten werden verkregen, is aan die der gehoorzenuw weinig de aandacht geschonken. Vóór weinige jaren daarover handelende, had Urbantschitsch [1]) nog alléén van de onderzoekingen van Dove [2]) en J. J. Müller [3]) gewag te maken, waarvan de eerste in korte woorden slechts op een paar verschijnselen had gewezen, die in afstomping hare verklaring zouden vinden, en de tweede

1) Archiv f. d. gesammte Physiol. B. XXIV. S. 575.

2) Pogg. Annalen. B. CI. S. 692 en CVII. S. 653. 1857 en 1859.

3) Ber. d. Kön. Sachs. Gesellsch. der Wissensch. Sitzung 6 Mai 1871.

de afstomping niet rechtstreeks had onderzocht, maar eenvoudig had ondersteld bij zijne proeven over entotisch voortgebrachte harmonische tonen. En ook thans, nà de uitkomsten, door Urbantschitsch verkregen, en anderen, die hem volgden, is onze kennis ook nog niet in die mate gevorderd, dat verder onderzoek geheel overbodig zijn zou. Daarom heb ik mij gaarne tot taak gesteld, het voornaamste bijeen te brengen van hetgeen door anderen op dit gebied was verricht, en, onder de leiding van Prof. Donders, door eigen onderzoek zoo mogelijk de verschijnselen, die tot afstomping betrekking hebben, wat nader te leeren kennen.

Bij onze beschouwingen zullen wij uitgaan van de afstomping der gezichtszenuw, die zooveel nauwkeuriger bekend is, en door de vergelijking met deze ons eenigszins laten leiden. Overigens zal het onderzoek hoofdzakelijk geschieden met het oog op de theorie van den gehoorzin, die wij aan Helmholtz [1]) te danken hebben. Die theorie onderstelt, zooals men weet, dat de trillingswijze van samengestelde klanken, aan het trommelvlies medegedeeld, door de keten der gehoorbeentjes voortgeplant, in de cochlea in enkelvoudige sinustrillingen wordt ontleed, die voor iederen perioden-duur haar omschreven gebied hebben en hier de zenuwvezelen prikkelen, wier energie de correspondeerende toonshoogten vertegenwoordigt. Van het onderscheiden van verschillende ook gelijktijdig aanwezige toonshoogten en van dat in Klangfarbe of timbre, dat zijn oorsprong vindt in de samenwerking der partiëele tonen van denzelfden klank, werd door die voorstelling op verrassende wijze rekenschap gegeven.

---

1) Tonempfindungen. 1e Ausgabe. 1862.

Aanvankelijk werden daarbij de Corti'sche bogen als het medetrillend klavier beschouwd. Toen later bleek, dat die bogen bij vogels en amphibiën ontbreken (Hasse), die toch buiten kijf verschillende toonshoogten onderscheiden, bleek de membrana spiralis op zich zelve de rol te kunnen vervullen, die aan de bogen van Corti was toegekend. Hensen[1]), die van den top tot de basis der cochlea de radiaire afmetingen dier membrana bepaalde, opperde daarvan reeds het denkbeeld, en Helmholtz[2]) leverde het wiskundig betoog, dat een in radiaire richting uitgespannen vlies in zijne verschillende deelen in tonen van verschillenden trillingsduur kan medetrillen, hetgeen, toepasselijk zijnde op de membrana spiralis, een nog vasteren grondslag zou geven aan zijne theorie dan de bogen van Corti.

Naar die theorie moet de onwerkzaamheid van een deel van dit vlies, de verlamming van enkele bundels der gehoorzenuw, de tonen van zekeren trillingsduur doen wegvallen, op gelijke wijze als door locale stoornis van het netvlies, door het verlammen van zekere bundels der gezichtszenuw, een deel van het gezichtsveld wordt weggenomen. En verder moet ook de afstomping, onder den invloed van zekere tonen, uitsluitend gelden voor tonen van denzelfden trillingsduur, wier trillingen weer dezelfde elementen treffen, die door de vorige geprikkeld waren.

De grenzen, binnen welke de afstomping zich doet gevoelen in den positieven of negatieven invloed op de overige deelen der gehoorzenuw aan te toonen, zou wel het hoogste zijn, wat experimenteel te bereiken

1) Zeitschrift f. wiss. Zoölogie B. XIII. S. 492.

2) Tonempfindungen. 2e Ausg.

ware. Doch ook waar dit niet gelukken mag, zullen de feiten ook in betrekking tot de theorie niet alle belangrijkheid missen.

Achtereenvolgens zullen wij behandelen:

1. Afstomping voor een bepaalden toon, rechtstreeks onderzocht op het getroffen oor.

2. Afstomping voor een bepaalden toon, onderzocht door vergelijking der gevoeligheid voor dien toon met die voor andere tonen.

3. Afstomping voor een bepaalden toon, onderzocht door vergelijking der gevoeligheid voor denzelfden en voor aangrenzende tonen op het getroffen en het niet getroffen oor.

4. Afstomping na onregelmatige geluiden.

5. Resultaten, in betrekking tot de theorie, en verdere beschouwingen over de energieën van oog en oor.

I. Afstomping der vezelen van het getroffen oor.

Ieder weet bij ervaring, dat de gevoeligheid van het oog door inwerking van licht afneemt. Treden wij uit helder licht in het halve duister, dan zien wij de voorwerpen niet, die wij eenige minuten later zeer wel onderscheiden, en na een verblijf in het volslagen duister verblindt ons het sterke licht en moeten wij gewennen aan het matige licht, waarbij wij gewoon zijn te werken, — het matige licht, waarbij de gevoeligheid dan ongeveer gelijk blijft en wij uren lang onzen arbeid kunnen voortzetten. Opmerkelijk is het, hoeveel langer de gevoeligheid van het

directe zien zich handhaaft, in vergelijking met die van het indirecte. Richten wij den blik onbewegelijk op een bepaalde, zij het een zwakke ster aan den sterrenhemel, dan blijft ze minuten lang (personen met eenigszins vasten blik kunnen er zich van overtuigen) schier onverflauwd zichtbaar, terwijl alle andere, ook de helderste, ja zelfs de maan, na weinige sekunden verbleeken en geheel verdwijnen, om bij geringste beweging van den blik, waarbij zij andere netvliespunten treffen, weer in volle klaarheid zichtbaar te worden. Door die afstomping van het indirecte zien verliezen wij trouwens weinig of niets. Zij kan een voordeel zijn, wanneer wij alle aandacht willen concentreeren op een bepaald punt; en overigens bewegen wij den blik altijd voldoende, om de peripherie van het netvlies wakker te houden voor alle sterke indrukken. Wil men zich soms eens rekenschap geven van hetgeen er buiten het gefixeerde punt in het gezichtsveld omgaat, dan zal men zich van zelf wachten voor het onbewegelijk blijven fixeeren van hetzelfde punt.

Voor het gehoor blijkt van dergelijke afstomping, hetzij voor alle, hetzij voor enkele geluiden, rechtstreeks zoo goed als niets. Men verhaalt van een pijnlijke gevoeligheid, die zou zijn waargenomen bij personen, die lang achtereen nauwelijks geluiden hadden vernomen. Zeker is het intusschen, dat men een tijd lang alle geluiden zooveel mogelijk kan afweren, zonder dat iets blijkt van de groote gevoeligheid, die het oog verkrijgt na een lang verblijf in het duister: waarschijnlijk staat deze laatste in verband met het zich hierin ontwikkelend staafjesrood, dat als zoogenoemde sensibilisator [1]) zou kunnen werken:

---

1) Verg. Donders, Graefe's Archiv f. Ophth. B. XXX. 1. S. 54.

in dit geval zou afstomping van het oor eerst met die van het oog vergelijkbaar zijn, wanneer hier het staafjesrood verdwenen is. Dit alléén is waar, dat sterke tonen en geruischen, gelijktijdig aanwezig, zwakke overstemmen en zelfs onhoorbaar maken,'t minst nog een zuiver aangehouden toon, die tusschen trompetgeschal kan blijven doorklinken. Een dergelijke toon, aanhoudend gehoord, gaat ons ook het meest „vermoeien", in den waren zin van het woord, d. i. storend, ondragelijk worden, hetgeen alweer aanwijst, dat men er al zeer weinig voor *vermoeit*, in den overdrachtelijken zin, d. i. door afgestompt wordt. Men hoort beweren, dat men een stemvork, die voor het oor uitgeklonken is, slechts een oogenblik behoeft te verwijderen en terug te brengen voor het oor, om den toon op nieuw te hooren. Urbantschitsch zegt het althans in betrekking tot het andere oor. Ons is dat beweren altijd twijfelachtig gebleven. Om zuiver te zijn, moet het oor op dezelfde plaats en de stemvork in gelijken stand op gelijken afstand van het oor verblijven. Dit werd verkregen door de stemvork in een blok te bevestigen en het hoofd met de tanden in eene moule. Onder die voorzorgen gaf de proef bij Prof. Donders (D.), Prof. Engelmann, Dr. Hamburger, Kagenaar en mij zelf (H.) een negatief resultaat, zonder die voorzorgen een wankelend.

Urbantschitsch [1]) deelt nog andere proeven mede, waarbij de stemvork direct door aanraking gedempt werd, zoodat de toon slechts zeer zwak bleef voortbestaan: hij beweert, dezen zwakken toon dan op het niet getroffen oor sterker te hebben waargenomen. De voorzorgen, waarop wij wezen, zijn intusschen ook hierbij niet in acht genomen. Wij herhaalden de proeven, door een krachtig aangesla-

---

1) Archiv f. d. ges. Physiologie. B. XXIV. S. 578.

gen stemvork te houden voor het uiteinde eener lange caoutchouc-slang, waarvan het andere uiteinde, verdeeld, met ivoren olijven in de beide ooren stak. Maar ook op deze wijze konden wij ons niet met zekerheid overtuigen, dat een zwakke toon op het pas getroffen oor zwakker gehoord werd dan op het andere.

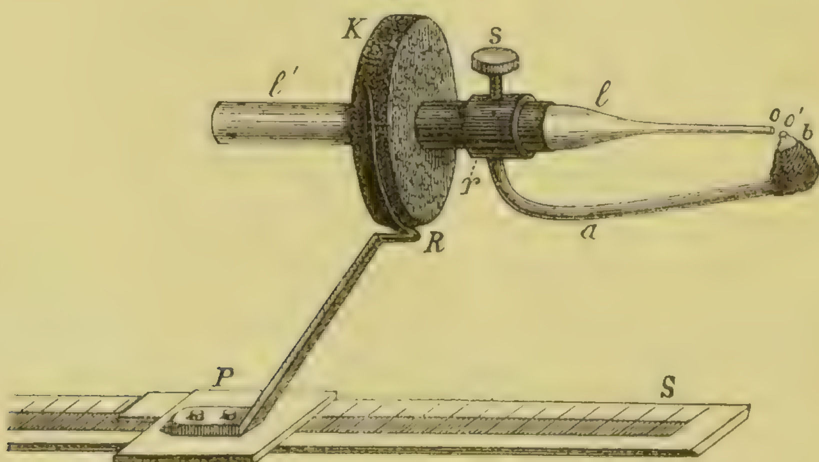
Vroeger hadden wij reeds soortgelijke proeven genomen. Wij bezigden een stemvork van 250 (dubbele) trillingen met resonator, door Koenig expresselijk voor ons doel vervaardigd, electro-magnetisch in constante sterke trilling gehouden. Van de resonance-kist ging een wijde metalen buis uit, voerende naar een verwijderd vertrek, waar de toon niet direct te hooren was. Een tweede elastieke buis werd zóóver buiten den resonator bevestigd, dat bij sluiting der metalen buis de toon langs dien weg met moeite even hoorbaar was. Nabij het oor vereenigden zich de beide buizen in het oorstuk. Nadat een tijdlang (1 à 5 minuten en langer) de krachtige toon in het oor geklonken had, werd plotseling (door een eenvoudig mechanisme) gelijktijdig de metalen buis gesloten en de caoutchouc-buis geopend. Op het oogenblik zelf werd de te voren ook nauwelijks hoorbare toon ontwijfelbaar waargenomen. — Ons voornemen was geweest, wanneer dezelfde toon, zooals wij onderstelden, niet terstond zou gehoord zijn, te onderzoeken, of hij bij verschil van toonshoogte zou hoorbaar zijn geworden, en welk verschil daartoe gevorderd werd. Nu het bleek, dat, alvast bij de tonen van onze stemvork, voor denzelfden toon de afstomping reeds niet of nauwelijks te constateeren was, kon de vergelijking van den invloed op aangrenzende tonen geen doel treffen.

Alléén zeer hooge tonen worden niet aanhoudend gehoord. Hoorbaar zijn naar Appunn en Preyer tonen tot 40960 trillingen in de sekunde en bij grooter intensi-

teit wel nog verder. Lord Rayleigh [1]) nu is, zoover wij weten, de eerste, die opmerkte, dat zeer hooge tonen niet blijvend gehoord worden. Hij verkreeg ze met vogelfluitjes en bepaalde de golflengten als 1"304 en 1"28, beantwoordende aan $n = 10063$ en 10260. Hij merkte tevens op, dat het bedekken van het oor, niet langer dan een fractie van een sek., voldoende was, om den toon weer te voorschijn te roepen. Ook Helmholtz overtuigde zich bij Rayleigh van de juistheid van diens bevinding.

Inderdaad is het hoogst gemakkelijk, zich daarvan te vergewissen. Zooals Wollaston reeds had opgemerkt, zijn er groote individueele verschillen voor de grenzen van den hoogsten hoorbaren toon. Dat op hoogeren leeftijd de grens zich minder ver uitstrekt, werd bij herhaling opgemerkt en ook door ons bevestigd. Maar binnen deze ligt een andere grens, waarbij de toon binnen eenige sekunden ook nog verdwijnt. De hooge tonen verkregen wij door het aanblazen van kleine sphaerische resonatoren, die van glas gemakkelijk te blazen zijn. Na het afslijpen van het dunne buisje, waaraan het bolletje (fig. 1 *b*) ge-

Fig. 1.



1) Philosophical magazine. 1882. Vol. XIII. p. 344.

blazen is, verkrijgen wij een cirkelvormige opening o' met een scherpen rand. Het bolletje met lak bevestigd aan den arm a, wordt langs $l\,l'$ aangeblazen door een plat gedrukt nauw buisje met opening o. Het buisje $l\,l'$, gaande door den koker r, waarmede ook a verbonden is en hieraan bevestigd door s, is met kurken plaat K bevat in den ring R en door dezen verbonden met de plaat P, verschuifbaar op eene slede S; het liet zich gemakkelijk zoo richten, dat langs een caoutchouc-buis met de soufflerie een krachtige toon verkregen werd.

De kleine toestel kan, op de slede S bevestigd van en tot het oor of, met de caoutchouc-buis, in alle richtingen voorbij het oor bewogen worden. De inhoud van den resonator werd gevonden door weging, in ledigen toestand en met kwikzilver gevuld, voorts de opening gemeten, en uit deze gegevens liet zich met de formule van Helmholtz [1]) de toonshoogte berekenen. Wij gebruikten er hoofdzakelijk twee: k_1 (kogel) die 15600, k_2, die 23096 trillingen gaf. Engelmann, Hamburger, van Genderen Stort en H. hoorden k_2 zeer goed, maar slechts eenige sekunden, k_1 blijvend; D. en Kagenaar hoorden k_2 in het geheel niet, k_1 goed, maar niet blijvend.

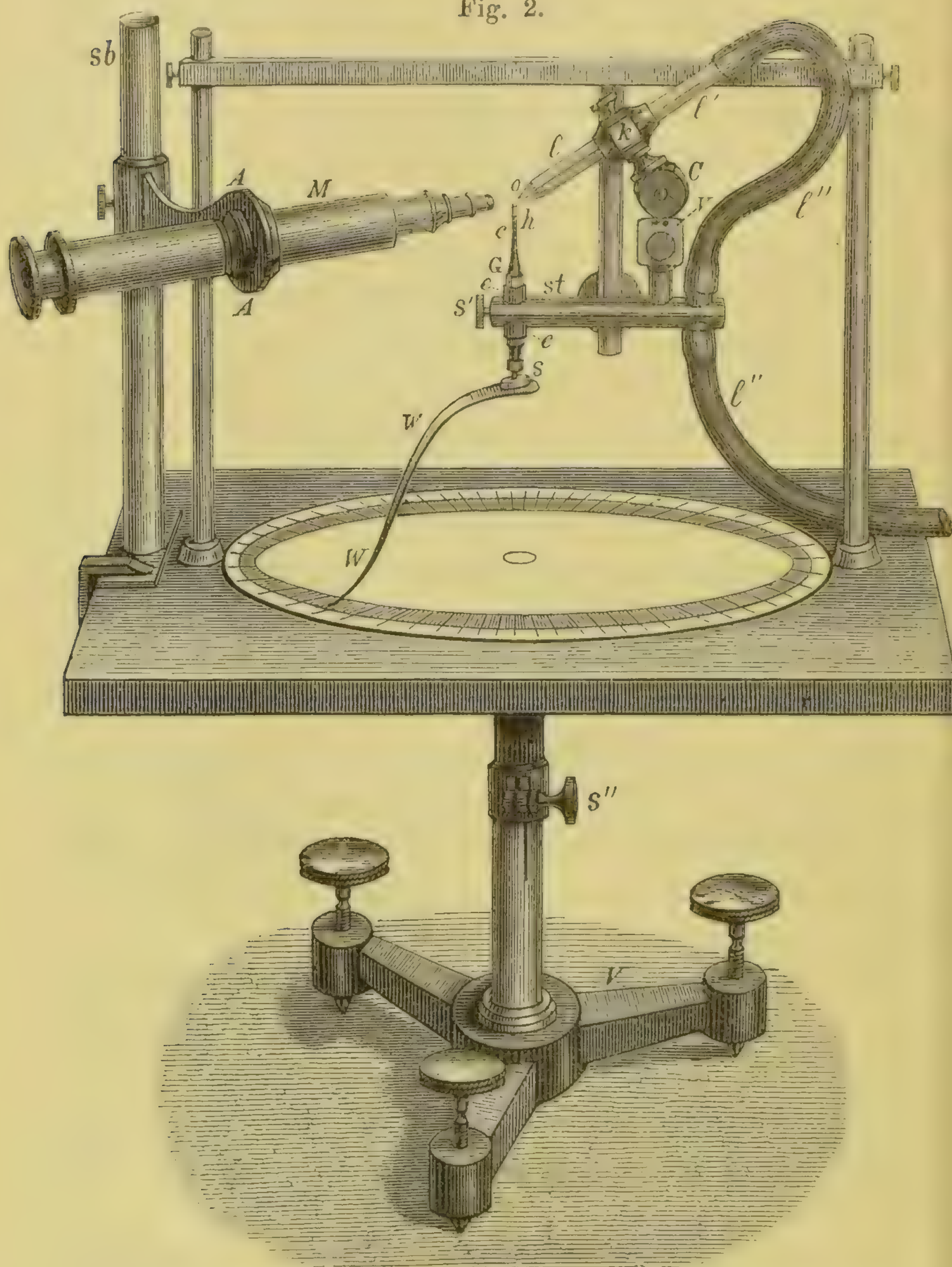
Om alle overgangen en daarbij snelle veranderingen van toonshoogte te verkrijgen, werden, in plaats van resonatoren, dunne cilindervormige buisjes gebezigd, uit het midden van voor de blaaspijp uitgerekte glazen buizen, waarvan de toonshoogte werd gewijzigd door

---

1) Tonempfindungen. 4te Ausgabe. 1877. S. 600. — Terwijl de middellijn der opening zich tot die van het bolletje nagenoeg verhield als 1 : 5, kon de coëff. 47000 in de waarde van $n = 47000 \sqrt[3]{\frac{\sigma}{s}}$. gebruikt worden.

het dalen en rijzen van een kwik-kolom. De inrichting was deze (fig. 2):

Fig. 2.



I. Een glazen buis G, door een conisch stuk overgaande in een cilinder-buisje c, gevuld met kwik tot h, met koperen omhulsel bewegelijk in ebonieten cilinder e,

bevestigd met schroef s' in een koperen stang *st*. — In den stalen bodem der buis dringt bij *S* een schroef, die door een wijzer *W* op en neer bewogen wordt, af te lezen op den graadboog: bij het op en neergaan rijst en daalt resp. de kwik in de capillairbuis.

II. Glazen toevoerbuis $l\,l'$, met kleine ovale opening *o*, lucht blazende op den scherpen rand der opening van *G*. Die toevoerbuis gaat door een koperstuk *K*, bevestigd met scharnierbeweging op een koperen cilinder *C*, waardoor de helling kan geregeld worden, en kantelende in een voetstuk *v*, zoodat *o* nauwkeurig op de opening van *G* kan gericht worden. — Van de glazen buis $l\,l'$ gaat een caoutchouc-slang l'' uit, gaande door de dwarse stang *st*, voorts door een Woulff'sche flesch, met watten gevuld, en door een buis met staafjes chloorzink, naar de soufflerie.

M is het mikroskoop, bewegelijk op statiefbuis *Sb*, verschuifbaar in een dwarsen arm *A*, met mikrometer-oculair, waarmede de stand van de kwik in *c* wordt afgelezen. Uit eenige aflezingen, bij verschillenden stand van den wijzer, kan de hoogte voor elken stand berekend en op een tabel gebracht worden. Het geheel is bevestigd op voetstuk *V*, met schroef S'', en kan zoodoende hooger en lager gesteld worden.

De middellijn van het lumen van *c* bedroeg 0,93 m.M. Bij een lengte der luchtkolom van 4.54 m.M. verkregen H. en Hamburger, bij een lengte van 6.2 verkreeg D. een inconstanten toon. Voor de gezegde lengten werden resp. $n = 16980$ en $n' = 12680$ gevonden [1]), bijna $\frac{1}{3}$ minder

1) Berekend naar de door Wertheim gegevene formule

$$n = \frac{v}{4\,(l + x)}, \text{ waarin } x = 2\,c\,V\,s\left(1 - \sqrt{\frac{s}{S}} + \sqrt{\frac{S}{s}}\right).$$

(Ann. de chim. et de phys. III. Série. T. XXXI. Krönig's Journal. Bd. II.)

dus dan voor b_1 en b_2 (23096 en 15600), die resp. voor H. en D. insgelijks een inconstanten toon gaven. Misschien zijn de formules voor het kleine bolletje en het fijne korte buisje niet volkomen van toepassing. Maar de oorzaak kan ook in verschil van intensiteit der tonen van bolletje *b* en capillairbuis *c* gelegen zijn. Zóóveel is zeker, dat bij niet stijgende intensiteit de tonen van kortere luchtkolommen gehoord worden en constant blijven. Wij gebruikten eerst de gewone soufflerie, later vooral het pneumatisch apparaat van Waldenburg, zoo geregeld, dat bij drukking van 85 m.M. water de toon een vol uur constant bleef. Hiermede was aan alle eischen voor vergelijkende proeven voldaan. Wijzigde men nu voor een oogenblik de drukking, dan werd niet slechts de intensiteit, maar ook de toonshoogte gewijzigd. Nabij de grenzen van het hoorbare gaf dit aanleiding tot een bijzondere complicatie.

D. bracht den wijzer op een stand, dat de toon voor hem onhoorbaar was. Bij drukken en loslaten der buis, hoorde hij echter telkens den toon. Het bleek nader, dat bij een bepaalden graad van samendrukking de toon ook aanhield, blijkbaar tengevolge van het dalen van den toon bij verminderde snelheid van uitstrooming. Tegelijk kan H. het stijgen van den toon hooren bij geopende buis, en het *stijgen* tevens nog van de intensiteit, waar hij voor D. geheel onhoorbaar werd. Gelijk resultaat als D. verkreeg daarentegen H., wanneer bij $l = 3.14$ mM. met geopende buis, de toon (23800 tr.) voor hem onhoorbaar was geworden. — Op de grenzen van het hoorbare de drukking sterk verhoogende, kan men den toon, blijkbaar door het vermeerderen van *n*, doen verdwijnen, waarna nog een zeker geruisch kan overblijven, dat reeds met den toon hoorbaar was geworden.

In het medegedeelde ligt opgesloten, dat wij de toonshoogten, die wij gebruikten, niet nauwkeurig kennen. Wat de formules geven, zijn de tonen, die niet door sterk aanblazen zijn opgedreven. De door ons gebezigde zijn dus hooger dan de berekende getallen. Van grootere resonatoren steeg door sterk aanblazen de toon meer dan een halve terts (*n* dus van 5 : 6); met wijdere buizen komen daarbij de harmonische boventonen voor den dag. Dat die hier niet in 't spel waren, leerde de gelijkmatige daling der tonen in kenbare verschillen, en de verkregen hoogste waarden van *n* voor de betrekkelijk zwakke tonen. Berekend voor de buisjes, en de voordeeligste combinatie van *l* en van manometerdrukking, bedroegen ze:

	l	*n*
voor Huijsman. . . .	3,14 . .	23800
„ Hamburger. . .	4,05 . .	20500
„ Donders	6,02 . .	12680

Voor de resonatoren werd nog ongeveer $\frac{1}{3}$ meer gevonden, waarbij dan nog de invloed van het sterke aanblazen komt. De eerste boventoon zou ons dus bij H. tot minstens 50000, dus reeds veel verder brengen dan den met de volmaakste hulpmiddelen ooit gehoorden toon. Zeker hebben wij dus met den grondtoon te doen. Voor eene directe bepaling der toonshoogte hadden wij geen gelegenheid. Overigens komt het bij onze proeven op de absolute hoogte minder aan. Onze experimenten betreffen hier tonen die óf *inconstant* óf *niet meer* gehoord worden, en deze hoogte is voor verschillende personen zeer verschillend en bovendien niet minder van de intensiteit dan van den trillingsduur afhankelijk. Overigens staat zooveel vast, dat voor al de hooge tonen, met *c* verkregen, *n* te laag is aangegeven.

Zooals ik opmerkte, zijn er groote individueele verschillen. De hoogste toon, door D. nog even of niet vernomen, klonk voor H. en E. zeer krachtig op 5 tot 10 M. afstand, en wel aanhoudend, zooals ook nog hoogere tonen, het oor onaangenaam aandoende. Wat lager tonen hoort D. genoegzaam even sterk als H. en E., en zoo bijzonder onaangenaam als anderen worden ze hem niet.

D. hoorde zijn inconstanten toon aanvankelijk krachtiger, na eenige proeven zwakker, en daarmede werd de duur der hoorbaarheid korter. Blijft hij uit, dan heeft men slechts voor een oogenblik een scherm tusschen oor en geluidsbron te brengen, om hem op nieuw te voorschijn te roepen. Telkens, zoodra hij verdwijnt, het scherm tusschen schuivende en verwijderende, worden de perioden al spoedig korter, om later vrij constant te blijven. — Allen hoorden den toon bij korteren, zoowel als bij langeren duur allengs — diminuendo — verdwijnen, nooit plotseling; daarentegen zet hij, na het verwijderen van het scherm, telkens krachtig in. Laat men het scherm weg, dan blijft de toon een onbepaalden — langen — tijd uit. Opmerkelijk, dat hij nu, na het voorbijbewegen van het scherm, des te korter aanhoudt, hoe langer, ook zonder hoorbaren toon, de inwerking geduurd had. Dr. Hamburger hoorde den toon, voortgebracht door capillairbuis *c* (fig. 2), waarin $l = 4.86$, ($n = 16130$), aanvankelijk 10 sekunden; na blijvende inwerking van den niet gehoorden toon gedurende 5 minuten, werd de toon, na voorbijbeweging van het scherm, op nieuw gehoord, doch thans slechts gedurende 3 sekunden. H. hoorde den toon, beantwoordende aan $l = 3.88$ ($n = 19630$), aanvankelijk 8 sekunden; na blijvende inwerking insgelijks van 5 minuten, gedurende welken

tijd de toon niet werd gehoord, werd het scherm voorbij het oor bewogen en daarmede de toon weer gehoord, doch thans slechts gedurende 5 sekunden.

De toon houdt des te korter aan, hoe hooger hij is, d. i. hoe dichter bij de grens van den hoogsten hoorbaren toon gelegen, en voor gelijken toon des te langer, hoe grooter zijn intensiteit. Ligt hij vlak bij den nog hoorbaren toon, dan hoort men hem slechts bij het openen en sluiten der buis. Een voorbeeld van den invloed der intensiteit:

Bevestigd hoofd, geluidsbron tegenover het rechter oor op 15 cM., gedekt met kurkplaat: bij 't wegnemen van deze wordt een krachtige toon gehoord, diminuendo verdwijnende in 6 sekunden. Verschoven op 30 : niet gehoord. Weer naderende op 6 : krachtige toon. Op 30 ctm. gedekt : nauwelijks hoorbaar bij ontblooten; — op 25 : zeer duidelijk; — op 15 : goed; — op 10 : sterker; — op 5: zeer sterk, en eerst na 18 sek. geheel uitgeklonken.

Nu, achtereenvolgens :

1	gedekt	bij	20	cM.	afstand,	gehoord	2	sekunden.
2	"	"	15	"	"	"	2	"
3	"	"	10	"	"	"	6	"
4	"	"	5	"	"	"	10	"
5	"	"	5	"	"	"	9	"
6	"	"	10	"	"	"	3.5	"
7	"	"	15	"	"	"	2	"
8	"	"	20	"	"	"	1	"
gemiddeld		bij	20	cM.	afstand,	gehoord	1.5	sekunden.
		"	15	"	"	"	2	"
		"	10	"	"	"	4.75	"
		"	5	"	"	"	9.5	"

De proeven geschiedden bij ingeklemde (maar verschuifbare) geluidsbron en in mondstuk bevestigd hoofd. Men kan daarbij de geluidsbron van en tot het oor brengen, of voor- en achterwaarts, boven- en benedenwaarts. Recht tegenover het oor is de toon het sterkst. Van en tot

het oor bewogen, waarbij hij telkens veel verzwakt, kan hij overigens constant blijven, zonder scherm, — eveneens bij snel of langzaam bewegen van 't scherm, na de korte intermissie telkens met een kracht terugkeerende, die hij bij vrijen toegang der golven maar kort behoudt.

Ik heb mij geruimen tijd bezig gehouden met het registreeren van den duur der pausen (afsluiting der buis) en van den daarop bij opening volgenden duur van den toon, zonder een langeren duur na langere pause als regel te kunnen vaststellen.

D. meent zich daarvan echter overtuigd te hebben. Wanneer de toon niet meer aanhield, verhief hij zich nog eenige malen systolisch: dat die toon niet subjectief was, bleek hem telkens bij het sluiten en openen der aanvoerbuis, waarmede hij onmiddellijk uitbleef en terugkeerde. Hoe langer nu de buis werd gesloten gehouden, des te langer, binnen zekere grenzen, werd de toon én aanhoudend én systolisch gehoord. Telkens ééne sekunde pauseerende, werd achtereenvolgens een duur gevonden van 6, 6, 4.5, 5.5 (na langere pause), 2.5, 2, 2.

Een opmerkelijk verschijnsel is het, dat, wanneer het hoofd vrij is, men het maar even te schudden heeft, om den toon te doen terugkeeren; alleen bij D. had dat schudden weinig invloed. 't Is alsof elke beweging, zelfs het verwijderen van het hoofd, den toon doet wederkeeren. Wellicht is daarbij toch slechts het tijdelijk afwenden van het oor in 't spel. Ook bij een willekeurige spanning in het oor verkregen Engelmann en H. wel eens hetzelfde.

Het ligt voor de hand, uit de medegedeelde proeven te besluiten, dat de gehoorzenuw door en voor zeer hooge tonen spoedig wordt afgestompt.

Wij denken ons de trillingen als mechanische prikkels

van drukking of uitrekking der peripherische elementen, de werking te vergelijken met die van den mechanischen tetanomotor van Heidenhain. De mechanische prikkels kunnen, evenals de electrische, bij genoegzame snelheid zich accumuleeren tot een tetanus. Op de gehoorzenuw wijst een bepaalde toon, hoe kort ook van duur, alreeds een tonische werking aan, met tetanus gelijk te stellen. Accumuleeren zich daartoe bij de hoogste tonen de effecten der 20000 en meer trillingen in de sekunde als zoovele golven in de zenuwvezelen, dan gaat het cijfer dat der electrische prikkels, die een tetanus kunnen geven, ver te boven. Al veel vroeger kan daarmee in de beweegzenuwen een proces bereikt worden, waarvan het effect met dat van een constanten stroom gelijk staat: een proces, waarbij de tetanus ophoudt en veelal werking slechts bij het begin en ook bij het einde der prikkeling wordt gezien, als bij het openen en sluiten van een constanten stroom.

Nu deed zich de vraag voor, of het verdwijnen van den toon na een korte inwerking niet als de werking van een constanten stroom was op te vatten. Werkelijk denkt men daaraan onwillekeurig, wanneer men in 't geheel geen toon meer hoort en nu telkens bij het sluiten en openen der toevoerbuis een kort geluid waarneemt. Het bleek ons echter, dat dit anders te verklaren was (verg. bl. 12): 't is de werkelijke verlaging van den toon onder de geringere drukking der lucht bij de voorbijgaande vernauwing der buis. Maar dit belet niet, dat in het algemeen het verdwijnen van den toon, na een korte inwerking der golven, als een overgang in het effect van een constanten stroom kan te beschouwen zijn. Wel is waar, wordt bij het enkel bedekken van het oor met een scherm, dat met het afbre-

ken van den stroom zou gelijk staan, de verdwenen toon nooit weer gehoord; maar ook, waar electrische tetanisatie in het effect van den constanten stroom overgaat, ontbreekt niet zelden de openingscontractie, en minder nog is een openingswerking te wachten na het natuurlijke mechanische tetaniseeren door geluidstrillingen, die moeielijk aanleiding kunnen geven tot een polarisatiestroom, waaraan de openingscontractie thans door velen wordt toegeschreven (zie Tigerstedt, en anderen). 't Is dus geen zoo onwaarschijnlijke hypothese, dat de irritatie door de hoogste tonen het karakter aanneemt van die door den constanten stroom. Werkelijk gaat ook bij het electrisch tetaniseeren eener beweegzenuw de tetanus in schijnbare werkeloosheid over, die, nadat de stroom een oogenblik slechts wordt afgebroken, weer voor tetanus plaats maakt, — een analogie met ons verschijnsel (het wegblijven van den toon en het weerkeeren, na snel voorbijbewegen van een scherm), waarop Prof. Engelmann ons opmerkzaam maakte [1]).

Intusschen kan men zich ook een andere voorstelling maken. Men kan zich denken, dat de medetrilling in het oor gestoord wordt en alle prikkeling uitblijft. Ongerijmd is die voorstelling zeker niet. Dat op hoogeren leeftijd de gehoorzin zijn hoogste tonen verliest, laat zich zeer wel verklaren uit een zekere stijfheid der medetrillende deelen. Zou het nu vreemd zijn, dat door en bij de trilling zich eenigerlei mechanisch impediment opdeed? Bij proeven met den phonautograaf van Scott

1) Verg. Engelmann. Over prikkeling van spieren en zenuwen met intermitteerende electr. stroomen. Onderzoekingen Physiol. Labor. 3de Reeks. I. 1872. bl. 103, en Archiv f. d. gesammte Physiologie von Pflüger. B. IV. S. 3.

ziet men de trillingen van zwakke tonen soms uitblijven en terugkeeren op de grilligste wijze, zonder dat men de oorzaak kan op 't spoor komen. En nu bedenke men, hoe ontzettend klein de amplituden zijn der medetrilling in het oor. Prof. Donders [1]) hoorde nog vrij krachtig den toon van een stemvork, welks trillings-amplituden, gelijktijdig onder het mikroskoop gezien, kleiner waren dan $^1/_3$ mikron (μ = duizendste millimeter): naar schatting zouden die van $\frac{1}{30}$ μ nog gehoord zijn, en 't is niet te wachten, dat die der membrana tympani, minder nog die der membrana spiralis, dan meer konden bedragen hebben dan $\frac{1}{100}$ μ, voor de hoogste tonen, die der membrana spiralis zeker minder.

Is het niet denkbaar, dat, bij zóó uiterst kleine beweging, de trilling zelve zich, in voedingsstoornis of anderszins, een mechanisch impediment schept, dat bij een oogenblik rust ophoudt te bestaan? — De invloed van het schudden van het hoofd moest daaraan reeds doen denken.

Bovendien bedenke men, dat de verklaring der verschijnselen uit afstomping niet zonder bezwaar is. Wel is waar strookt daarmede het steeds regelmatig diminuendo verdwijnen van den toon, hetzij snel, hetzij langzaam, — ook het, onder gelijke korte afsluiting van het oor, telkens bij 't verdwijnen van den toon, na iedere herhaling korter en korter aanhouden van den toon, — de korte duur ook van den toon, volgende op het voorbijbewegen van het scherm na lang voortgezette inwerking der golven zonder hoorbaren toon (H. en Hamburger), — de constantie vooral van het verschijnsel, bij alle personen, onder alle omstandigheden, wat van een mechanisch,

1) Zie zijne studiën over den telephoon, in Kon. Akad. van Wetenschappen. Proces-verbaal van 29 December 1877.

immers uit zijn aard meer wisselvallig, impediment niet te wachten ware. Maar kwalijk daarmede te rijmen is de snelheid, waarmee de afstomping na eenige weinige sekunden ontstaat, bij zwakke, zoowel als bij sterke prikkels, meer nog de korte tijd, — de fractie eener sekunde, — blijkens de volle kracht waarmede, bij vrijen toegang der golven, de toon weer inzet, — tot herstel gevorderd, misschien ook het onbepaald uitblijven van den toon bij het voortbestaan derzelfde golven, die voor korte oogenblikken schier tot het maximum der sensatie opvoerden.

Prof. Donders raadde te beproeven of een korte krachtige trilling van het inwendige oor den slapenden toon niet weer zoude wekken. Een sterke hamerslag, de stoot van een krachtige fluit of trompet, de knal van een pistoolschot, alles nabij het oor, schreeuwen in het oor van de vocaal i, met haar hooge boventonen, een stemvork, met groote amplituden vóór het oor of op den schedel: alles werd beproefd Maar de slapende toon der steeds invallende golven bleef slapen. Een mechanisch beletsel, had, naar het schijnt, door de schudding moeten worden opgeheven.

Hiermede is het althans zeer onwaarschijnlijk geworden, dat een zuiver mechanisch impediment zou in het spel zijn. Maar met gewone afstomping zijn sommige verschijnselen ook moeilijk te rijmen. Inderdaad treedt, bij nadere overweging, de analogie met tetanus, overgaande in het effect van den constanten stroom, meer en meer op den voorgrond. Onder II zullen wij verschijnselen leeren kennen, die ook met deze hypothese nog het best zijn in overeenstemming te brengen.

Overigens, welk nerveus proces in het spel zij, zal het nog de vraag blijven, waar het wordt afgebroken, óf in zijn meest peripherische elementen, óf op een dier

plaatsen, waar het proces, om in het sensorium aan te komen, eene „Schwelle” moet bestijgen.

Zooveel over directe afstomping voor betrekkelijk lage en voor de hoogste tonen. Voor het onderzoek van die voor tusschengelegen tonen, niet onbelangrijk wellicht voor de beslissing van onzekere punten, ontbrak ons de tijd.

II. Afstomping voor een bepaalden toon, onderzocht door vergelijking der gevoeligheid voor dien toon met die voor andere tonen.

Op het oog komt partiëele afstomping bij de eenvoudigste proeven aan den dag. Men heeft slechts een wit blad, met een kleiner zwart bedekt, op een bepaald punt te fixeeren, om, bij het richten van den blik op een grijs blad, het witte donker, het zwarte helder te zien uitkomen. Eenige sekunden waren voldoende, om het netvlies-gedeelte, dat aan sterker licht werd blootgesteld, voor het zwakkere van het grijze vlak af te stompen.

Laat zich iets soortgelijks voor een deel der vezelen van de gehoorzenuw constateeren?

De proef is hier niet zoo eenvoudig als voor de gezichtszenuw. Waar het deze gold, konden door hetzelfde licht tal van vezelen op gelijke wijze geprikkeld worden, en men had nu slechts de reactie van een ander licht op de aldus geprikkelde en op niet geprikkelde vezelen te vergelijken. In het oor daarentegen treft iedere toonshoogte slechts bepaalde vezelen; en, om hare afstomping te bewijzen, moet hare reactie met die van een anderen toon (en wel van gelijke intensiteit) op andere vezelen

vergeleken worden. Nu hebben wij gezien, dat rechtstreeks, zonder vergelijking van afstomping der getroffen deelen, alvast voor betrekkelijk lage tonen, daarvan weinig blijkt. Alléén zeer hooge tonen verdwijnen, waarna, zooals wij zagen, lagere van minder energie constant en goed hoorbaar bleven. In zoover mag worden aangenomen, dat het gezegde verdwijnen op afstomping berust, is dus voor die hooge tonen het bewijs van partiëele afstomping van bepaalde vezelen, naast andere — die gevoelig bleven —, geleverd.

Andere proeven bevestigden deze uitkomsten ten volle. De als fig. 2 beschreven toestel stelt in staat, den aangeblazen toon door draaiing aan den wijzer voortdurend te veranderen. Het gevolg daarvan bestudeerden wij door beweging binnen de grenzen, waar de tonen hoorbaar zijn, maar na eenige sekunden verdwijnen. Nabij het onhoorbare ω verdwijnt de toon in minder dan 1 sekunde, nabij het constant blijven α kan hij tot 30 sekunden aanhouden, om toch ook geheel te verdwijnen: wij bezitten daarvan verscheidene vrij regelmatige reeksen van verschillende personen. Een toon nu tusschen α en ω eindigde na 6 sekunden; terstond daarop werd de wijzer zoo gedraaid, dat de toon tot α naderde, alzoo lager was: eene geringe draaiing in dien zin was bij H. en Hamburger altijd voldoende, om den toon, daaraan eigen, te voorschijn te roepen. Voor dien toon had dus de voorafgaande niet afgestompt. Werd daarentegen de wijzer zóó gedraaid, dat de toon tot ω naderde, dus hooger werd, dan werd hij meestal stellig niet, enkele malen twijfelachtig gehoord, hetzij de beweging snel of langzaam, hetzij over groote of kleine uitgestrektheid had plaats gegrepen. D. en H. hebben in vele proeven den hoogeren toon ieder éénmaal twijfelachtig gehoord, Hamburger nooit. Gaven anderen wel eens aan, hem te hooren, dan

was er vaak grond genoeg voor twijfel of voor het aannemen van eenige hoofdbeweging of drukkingsverandering, waardoor hij kon ontstaan. Genoeg, dat zeker de hoogere toon niet of hoogst zelden gehoord wordt, wanneer de lagere was verdwenen.

Dit alles toont ten duidelijkste aan, dat, bij afstomping voor den gehoorden toon, geen afstomping voor een lageren plaats heeft. Voorts zij opgemerkt, dat de hoogere toon, die, na het uitklinken van den lageren, weigerde en door tijdelijke aanwending van het scherm te voorschijn kwam, in sommige gevallen stellig als hooger werd herkend dan de primitieve.

Wij beproefden bovendien, in hoe ver het mogelijk was, den overigens inconstanten toon door langzaam, maar aanhoudend bewegen, terwijl hij nog gehoord werd, hoorbaar te houden, en het bleek, dat dit bij langzaam bewegen in de richting naar α wel eenigermate gelukte in die naar ω daarentegen de hoorbaarheid niet werd verlengd, en dat door langzaam heen en weer bewegen de toon bij mij telkens verdween tijdens het naderen tot ω, om weer te verschijnen tijdens het terugkeeren tot α: in eene reeks van zorgvuldige proeven, met bevestigd hoofd en gesloten oogen, waarbij op geenerlei wijze van de beweging van den wijzer iets werd vernomen, gaf ik telkens met de grootste regelmatigheid de plaats aan, waar de toon verdween en weer hoorbaar werd, — bij bewegingen tusschen $n = 20700$ en $n' = 21400$, en wel ongeveer in het midden, resp. bij het naderen tot α en tot ω. Voor H a m b u r g e r, daarentegen, die $n = 15475$ gedurende 8 sek., $n' = 15737$ gedurende 5 sek. hoorde, bleef, bij heen en weer bewegen tusschen n en n' de toon aanhoudend, alléén met sterk crescendo en decrescendo.

Deze verschijnselen zijn het, waarop ik het oog had, toen ik (bl. 20) bij voorbaat op II verwees.

Kan men een afstompen van den gehoorden, zonder afstomping van de aangrenzende, op hetzelfde oor ook bewijzen voor minder hooge en voor betrekkelijk lage tonen?

In twee afgelegen vertrekken bevinden zich twee stemvorken, S van 250, S′ van 240 d. trillingen in 1″, met electromagneten. De toon wordt door twee buizen *b* en *b′* naar een derde vertrek geleid, waar ze zich vereenigen in de oorbuis B. Onder afwisselend sluiten van *b* en *b′* worden de intensiteiten gelijk gemaakt. Nu wordt, gedurende 1 of meer minuten, door sluiten van *b* of *b′* slechts één toon toegelaten, en daarop, bij afwisselend sluiten van *b* en *b′*, met den anderen vergeleken: het resultaat was, dat de intensiteiten weinig of niet verschillen. Ook wanneer, na de inwerking van S of S′, beide tonen gelijkelijk werden verzwakt, zelfs tot het even hoorbare, bleef het verschil gering: waar het bestond, evenwel, in den regel zeker ten nadeele van den toon, die was voorafgegaan. Omtrent de methode, waarbij gelijke verzwakking der beide te vergelijken tonen verkregen werd, zij het voldoende mede te deelen, dat de oorbuis B over een kleine uitgestrektheid zich in twee buizen B′ en B″ splitste, die zich weder tot één vereenigden, en dat daarvan B′ door een schroef zoo werd samengeknepen, dat de toon weinig of nauwelijks hoorbaar bleef: men had nu, na een krachtigen toon door B ontvangen te hebben, deze slechts volkomen te sluiten, om den steeds aanwezigen verzwakten door de nevengeleiding te hooren en door afwisselende sluiting van *b* en *b′* de verzwakte tonen van S en S′ te vergelijken.

Dezelfde proef, verricht bij grooter verschil in toonshoogte (het grootste bij S van 250 en S′ van 210 trillingen in

1''), gaf minder overtuigende resultaten, omdat, bij zooveel verschil in toonshoogte, moeilijker over intensiteit te oordeelen is, maar naar schatting toch dezelfde. Ook door toevoeging van het dubbel-otoscoop naar Lucae [1]), toen de proef zoo was ingericht, dat men den toon, die lang had ingewerkt, afwisselend op het eene en het andere oor hooren kon, bleek nimmer recht duidelijk van afstomping van het getroffen oor, — alreeds niet duidelijk voor den toon, die te voren had ingewerkt, en a fortiori niet voor den toon, welks trillingsduur daarvan afweek.

Die uitkomst is zeker vreemd, terwijl, zooals wij onder III uit andere proeven zullen zien volgen, toch ook voor tonen van den hier beproefden trillingsduur de afstomping zeker niet ontbreekt.

III. Afstomping voor een bepaalden toon op het eene oor, onderzocht door vergelijking met denzelfden toon op het andere.

Veel duidelijker dan bij vergelijking op hetzelfde oor, komt bij die van het eene oor met het andere de afstomping aan den dag. Trouwens heeft men hierbij het voordeel, dat men op de beide ooren een en denzelfden toon vergelijken kan, op hetzelfde oor daarentegen alléén verschillende tonen.

Op drie wijzen kan men die afstomping onderzoeken:

1. door vergelijking der intensiteit van denzelfden toon, afwisselend op het eene en het andere oor;

2. door bepaling der richting, waarin de toon binotisch gehoord wordt;

1) Arch. f. Ohrenheilkunde B. III. 1867 S. 205.

3. door vergelijking van het timbre van denzelfden klank op de beide ooren, nadat zekere partiëele tonen van den klank op het eene oor hebben ingewerkt.

1. *Vergelijking der intensiteit van denzelfden toon, afwisselend op het eene en op het andere oor.* Op het oog komt, bij vergelijking, de invloed der lichtwerking aan éêne zijde zeer spoedig te voorschijn. Men heeft slechts het eene oog gedurende eenige sekunden te sluiten en te dekken, terwijl het andere geopend bleef, om, bij afwisselend sluiten der beide oogen, zich van het verschil in intensiteit, waaronder verlichte vlakken of voorwerpen zich vertoonen, te vergewissen. Bij het maken van kleurvergelijkingen met het eene oog in het spectroscoop, wordt het andere, dat inmiddels gesloten bleef of slechts in zwak licht geopend, spoedig zooveel gevoeliger en, in verband daarmede, zoo gewijzigd in zijn sensaties, dat nu, bij vergelijking, velen meenen een ongelijkheid hunner oogen te ontdekken, waar slechts verschil van afstomping in het spel is. Treffend is het, hoe men bij waarneming der heldere maan met een kijker, weldra met het gebruikte oog in de vrij donkere ruimte niets meer onderscheiden kan, terwijl men met het andere de zwak verlichte voorwerpen duidelijk ziet. Men vraagt zich af, of door afstomping van het eene oog de gevoeligheid van het andere zelfs niet verhoogd wordt: opzettelijke proeven daaromtrent zijn zeker niet ongewenscht.

Op het oor nu laat zich hetzelfde, wanneer ook niet in gelijke mate, constateeren.

Urbantschitsch [1]) plaatste in ieder oor een guttapercha-slang met één harer uiteinden, terwijl voor de beide andere uiteinden, naast elkander gehouden, een

1) Archiv f. d. ges. Physiologie. B. XXIV. S. 577.

lage trillende stemvork heen en weer bewogen werd. Door „Einlage von Watte in den Slauch” werd voor beide zijden gelijke intensiteit verkregen, wanneer die verschilde. Daarop werd de stemvork sterk aangeslagen, 10 tot 15 sekunden voor één der buizen gehouden, terwijl de andere werd dicht geknepen, nu door het strijken langs de trillende beenen gedempt en aldus weer voor dezelfde buis gebracht, tot dat de trillingen hier onhoorbaar werden: voor de andere thans ontslotene buis gehouden, hoorde nu het te voren niet getroffen oor den zwakken toon nog verscheidene sekunden.

De afstomping mag hiermede wel bewezen heeten. Zuiverder is evenwel de proef, wanneer de stemvork niet bewogen wordt. Bij de herhaling der proef, bezigden wij de gaffelswijs verdeelde buis van het Interferenz-otoscoop van Lucae [1]), waarvan de hoofdbuis B in een verwijderd vertrek met de gelijkmatig trillende stemvork in verband stond, en de beide takken *r* en *l* met hunne ivoren olijven resp. in rechter- en linkeroor staken. D. hoort op het rechter oor den toon zwakker en lager dan op het linker. Vóór de bifurcatie is op *B* een klem aangebracht, die den te voren krachtigen toon tot een minimum reduceert. Nu wordt *r* door samendrukking gesloten en de klem van B geopend, waarmede de toon sterker in het linker oor klinkt. Na 2′ wordt de klem van B losgelaten: de toon wordt zwak op het linker oor gehoord, bij gelijktijdig openen van *r* en sluiten van *l* (steeds op symmetrische plaatsen) bepaald sterker op ’t rechter, en verder, bij het afwisselen, allengs sterker op het linker, ten slotte hier zelfs sterker dan op het rechter. Dezelfde proef herhaald, met den krachtigen toon in het

1) Archiv für Ohrenheilkunde. B. III. S. 186 u. 299.

rechter: de gedempte toon daarna op rechter nauwelijks hoorbaar, veel krachtiger op linker, waar hij ook ten slotte wat krachtiger blijft (zooals hij pleegt te zijn).

Gelijke uitkomsten werden ook door mij verkregen, met de stemvork van 250 trillingen en ook met nog andere. Bij mij zijn rechter en linker oor voor stemvorktonen even gevoelig. De proeven, waarbij oorspronkelijk rechter en linker oor aan den krachtigen toon werden blootgesteld, gaven dan ook in allen deele gelijke uitkomsten. Bij verder toeschroeven van B konden wij ook bevestigen, dat op het afgestompte oor de toon vroeger geheel verdween dan op het andere.

2. *Verandering der richting, waarin het geluid binotisch gehoord wordt.*

Met beide ooren hoorende, kunnen wij, ook zonder beweging van het hoofd, de richting, waarin een geluid tot ons komt [1]), nauwkeurig beoordeelen. Hoofdzakelijk worden wij daarbij geleid door de intensiteit van het geluid in de beide ooren. Zijn de ooren gelijk en het hoofd symmetrisch, dan brengt een geluid, uitgaande van eenig punt p in het sagittale vlak, afgezien van asymmetrische reflexen, een gelijk effect in beide ooren voort, en in dit geval is men, omtrent hetgeen voor en achter ligt, onzeker voor enkelvoudige tonen, — merkwaardig genoeg niet voor den klank der menschelijke stem. Ligt het punt daarentegen links of rechts van dat vlak, dan zal het oor aan die zijde sterker getroffen worden, en naar die zijde wordt de richting, waarin wij hooren, nu verplaatst. Zoo wordt dan ook, bij verminderde ge-

1) Vergel. de proeven van Rayleigh. Nature. Vol. XIV. 1876. p. 32.

voeligheid van het eene oor, zoolang men daaraan niet gewoon is, een geluid naar de andere zijde verplaatst, bij gevolg een geluid, dat uitgaat van het sagittale vlak, naar de zijde van het scherper hoorende oor. Hiervan nu is gebruik gemaakt ter herkenning der afstomping aan ééne zijde.

Met de onder III. 1. (bl. 27) beschreven inrichting verkrijgt men van denzelfden toon golven van gelijke intensiteit in de beide ooren. D. en H. hooren dan den toon op korten afstand (30 à 40 cM.) recht voor zich in het mediane vlak. Drukkende op *l*, hoort men hem alléén *in het rechter-*, drukkende op *r*, alléén *in het linker oor.* Vermindert men dan de drukking, waarbij ook het tweede oor meer en meer begint te hooren, dan wandelt de toon van het eene oor naar het mediane vlak en bereikt het als beide ooren den vollen toon ontvangen. Zooals gezegd, is bij D. rechts de toon wat zwakker, hetgeen niet belet, dat, bij gelijke kracht der golven aan beide zijden, de toon nagenoeg in het mediane vlak gehoord wordt: dit moet het gevolg zijn van lange ervaring.

Hetzelfde effect nu als drukking van *r* of *l* oefent de afstomping van linker- of rechteroor uit.

De eerste waarneming van Dove [1]) is daartoe terug te brengen. Wanneer hij van twee unisono klinkende stemvorken, de eene voor het éene, de andere voor het andere oor hield, en één van deze om hare verticale as draaide, zoodat zij door de vier interferentie-standen ging, hoorde hij daarbij „nicht nur ein blosses An- „schwellen und Abnehmen, sondern alternirend den Ton „mit dem einen und dann mit dem andern Ohre." — Bij deze proef blijven de golven aan éene zijde con-

1) Pogg. Annalen B. CI. S. 692. 1857.

stant en veroorzaken eenige afstomping, zoodat de toon hier zwakker is dan de volle toon der andere zijde, sterker dan de door interferentie gedempte. Dientengevolge verplaatst zich de binotische toon beurtelings naar de eene en naar de andere zijde, wat Dove (wel wat overdreven) noemde: „alternirend mit dem einen und dann mit „dem andern Ohre" hooren. — Later wijzigde Dove [1]) de proef in dier voege, „dass die vor das rechte und linke „Ohr gehaltene Stimmgabeln verschiedene Töne geben" waarbij, bij het gaan door de interferentie-plaatsen „nicht „wie bei unisono tönenden Gabeln abwechselnd die eine „und die andere, sondern die eine und dann beide" gehoord worden. Waarschijnlijk wilde Dove daarmede bewijzen, dat tonen, die niet unisono zijn, in de resp. ooren gehoord worden, zonder kennelijken invloed op elkander uit te oefenen.

Maar vooral zijn het Urbantschitsch [2]) en S. P. Thompson, die den invloed der afstomping voor een bepaalden toon op de richting, waarin die toon binotisch gehoord wordt, hebben onderzocht.

De even beschreven proef is afkomstig van Purkyné [3]). Langs één der buizen hoorde hij den toon in het toegankelijke oor, langs beide buizen, in het achterhoofd. Die proef was ook het uitgangspunt voor Urbantschitsch. De plaats, waar het geluid binotisch wordt gehoord, werd door verschillende schrijvers verschillend aangegeven. Urbantschitsch nu kwam tot het resultaat, dat hierbij individuëele verschillen in het spel zijn, en dat bovendien de zetel zich bij verschillen in toons-

---

1) Pogg. Ann. B. CVII. S. 653. 1859.

2) Archiv f. d. ges. Physiologie. B. XXIV. S. 579.

3) Prager Vierteljahrschr. B. III. S. 94. 1860.

hoogte en intensiteit kan verplaatsen. Ongelijke oorscherpte had het gevolg, dat de richting naar de zijde van het scherper hoorende oor verschoven werd. Bij personen nu, die den toon binotisch in het mediaanvlak hoorden, liet hij dien toon aan ééne zijde krachtig inwerken, daarna zwakker in beide ooren en vond hierbij nu de richting naar de zijde van het niet getroffen oor afgeweken, om geleidelijk, en wel vrij spoedig, naar het mediaanvlak terug te keeren.

Wij bepaalden nu ook met de gewone stemvork van 250 trillingen, in een afgelegen vertrek, de binotische plaats of richting (zie tabel, bl. 32, kolom 3) bij een twintigtal personen, daarbij tevens vragende naar verschil in intensiteit (kolom 1) en toonshoogte (kolom 2) der beide ooren: het teeken $<$ in kolom 1 betreft de intensiteit; in kolom 2 geeft de richting der verbindingslijn tusschen D en S aan, op welk oor de toon hooger gehoord werd. Dat iedere aanwijzing daaromtrent vertrouwen verdient, zouden wij niet durven beweren.

Volgnummer.	NAAM.	Stand.	Vergelijking van Rechter- en Linkeroor. 1. Intensiteit.	2. Hoogte.	Binotisch. 3. Plaats of richting.	*Nadere beschrijv.*
1	Donders	hoogl.	D < S	D / S	Med. \ 30 cM.	
2	Engelmann . . .	id.	D < S	D / S	Med. boven vóór.	
3	Huijsman	arts	D = S	D \ S	Med. vóór zich.	
4	Hamburger . . .	Dr.	D = S	D = S	in het hoofd.	Plaats niet w
5	Kagenaar	amanuënsis	D = S	D = S	Med. vóór zich.	aan te wijze
6	van Loon	secretaris	D = S	D \ S	Iets links in med.	
7	Idenburg	med. st.	D < S	D / S	Med. vóór zich.	
8	v. Leersum . . .	id.	D < S	D \ S misschien	Med. o vóór zich.	
9	Hattink	id.	D > S	D \ S	Med. in het voorhoofdsbeen.	
10	v. d. Boogaart .	id.	D = S		Med. vóór zich.	
11	Du Boeuff . . .	id.	D < S	D / S	Med. vóór zich.	
12	M. Snellen . . .	id.	D = S		Med. vóór zich.	
13	v. Dorsten . . .	id.	D < S	D = S	Med. vóór zich.	
14	Ecker	id.	D = S	D / S		Niet te bepa
15	J. A. Tamson .	id.	D < S	D \ S	Med. vóór zich.	
16	Dobberke	id.		D / S	Iets links in med.	
17	Das.	id.	D = S	D = S	Med. ongeveer 30 cM. vóór zich.	
18	Huijghens	id.		D \ S	Med. dicht bij het voorhoofd.	Plaats niet bepalen.
19	Snel	id.	D = S	D / S	Med. in het achterhoofd.	

Zooals blijkt, geeft het meerendeel voor den binotischen toon plaats en richting aan, waar D. en H. hem hoorden: mediaan vóór zich, — bij gebogen hoofd wat naar beneden. Bij eenigen van deze, vooral bij D. en H., werden nu de proeven van Urbantschitsch her-

haald, bij allen in 't algemeen met hetzelfde gevolg: altijd week de richting af naar de zijde van het oor, dat niet was blootgesteld geworden, — bij D. dan vooral snel en gemakkelijk, wanneer het sterker hoorende linker oor getroffen was. De terugkeer tot het mediane vlak liet zich gemakkelijk met den vinger aanwijzen: hij duurde, naar gelang van den tijd en de kracht der inwerking van 1 tot 30 sekunden. Het effect der afstomping was volkomen na te bootsen, door de buis voor één der ooren dicht te knijpen en zich langzaam te laten openen. — De proef geschiedde met stemvorken van ververschillenden trillingsduur, altijd met hetzelfde gevolg, ook met zeer hooge toonen, tot nabij het inconstante. Bij D. volgde het effect reeds sterk na korte blootstelling, maar verdween dan ook spoedig. Bij Prof. Engelmann (die veel hooger tonen hoort) niet zoo snel: na inwerking van 30 tot 60 sekunden op het linkeroor, was evenwel de toon binotisch geheel in het rechter verplaatst, maar ging weer vrij spoedig naar het mediaanvlak. H. (die ook zeer hooge tonen hoort) verkreeg resultaten gelijk aan die van Engelmann: na de inwerking werd de toon binotisch volkomen in het andere oor gehoord, na 20 sekunden weer in het mediaanvlak.

Met een krachtig vogelfluitje van $n = 7880$ was op de gewone wijze geen resultaat te verkrijgen, blijkbaar alléén, omdat de in de ooren gebrachte buizen het directe hooren van den schellen toon niet uitsloten. H. plaatste zich nu op 20 M. afstand van het fluitje, het rechteroor door een dop goed afgedekt, het linker naar de zijde van den toon gekeerd, het hoofd door de tandmoule bevestigd. Tien minuten lang hoorde hij op die wijze den toon met het linkeroor, nu en dan schijn-

baar (immers bij aanblazen onder constante drukking) wel iets verzwakkende, maar toch duidelijk genoeg tot aan het einde: op het oogenblik nu van het ontblooten van het linkeroor, werd de toon in dit oor, hoewel gekeerd naar de tegengestelde zijde, krachtig gehoord, een bewijs, dat de gevoeligheid hier voor een oogenblik althans aanzienlijk grooter was dan op het andere.

Ook Thompson [1]) deed zijn proeven bij vrijen toegang der geluidsgolven, zonder buizen, — evenzeer met stemvorken. „Let one ear," zegt hij: „be fatigued by „listening to a loud pure note. Than let the listener „try to estimate the direction of a sound of the same „pitch. If his left ear has been fatigued, he will invariably imagine the source of sound to be further to the „right, than it really is, and vice versa. — When one „ear was fatigued with a c″ fork, no illusory displace„ment was perceived in an a″ fork."

Zonder deze laatste proef te kennen, had het reeds in ons voornemen gelegen langs dezen weg te onderzoeken, tot welke hoogte-verschillen met den afstompenden toon het effect van afstomping zich zou doen gevoelen. De proeven geschiedden met de buizen van Lucae in de ooren, en de stemvorken in verwijderde vertrekken. Een daarvan S bleef constant op $n = 250$. De andere S′ was door König nauwkeurig gegraduëerd tot 240 en 260. Had nu 250 op het éene oor 30 sek. ingewerkt en werd dezelfde toon nu ook tot het andere oor toegelaten, dan waren verplaatsing en allengsche terugkeer goed te constateeren. Nu zijn wij op de beschrevene wijze bij machte, in een volgende, en zelfs afwisselend in een en dezelfde proef, langs beide buisjes den toon

---

1) Philosophical Magazine. 1881. Vol. XII, p. 355.

van de andere stemvork toe te laten en ook daarvan de binotische richting te bepalen. Zonder eenigen twijfel nu liet zich op die wijze vaststellen, dat bij een verschil van weinig trillingen in de sekunde geen merkbare verplaatsing der richting meer aanwezig is.

Boven (bl. 24) maakten wij melding van een nevengeleiding, die ons bij sluiting der hoofdbuis den toon zeer verzwakt deed hooren, verkregen door een splitsing der oorbuis. In betrekking tot de proeven, die ons hier bezighouden, hebben wij een soortgelijke nevengeleiding aangebracht in de toevoerbuis van S, terwijl die van S′ in die mate was samengedrukt, dat de intensiteit van den toon van S gelijk stond met die der nevengeleiding. Zoo waren wij in staat gesteld, na langs de hoofdgeleiding door een der oorbuizen op het ééne oor S krachtig te hebben doen hooren, gelijktijdig op beide ooren S sterk en S′, naar verkiezing, sterk of verzwakt te laten inwerken. Bij verzwakte tonen kwam nu het verschil der binotische directie voor S en S′ duidelijker en bij minder verschil in toonshoogte te voorschijn dan bij de onverzwakte.

In onze proeven wordt de afwijking in graden rechts van het sagittale vlak met +, links van dat vlak met — aangeduid. In het sagittale vlak, naar voren, is dus 0° (naar achteren 180°), in 't rechteroor + 90°, in 't linker — 90°.

Donders. S 250, S′ 240 d. trillingen.

Toon op rechteroor wat zwakker dan op linker: binotische richting (b.r.) = — 5°; bij gelijke intensiteiten b.r. = + 25°.

a. Bij (normale) b.r. = — 5°. Inwerking van S op linkeroor, gedurende 2′: matig effect, b.r. aanvankelijk = + 35°, allengs minder; intusschen S′, bij afwisseling gehoord, b.r. constant = 0°.

b. Bij b.r. = — 10°. Inwerking van S op rechteroor, gedurende 2′: groot effect, b.r. = — 85°, langzaam verminderend; nu afgewisseld met S′, b.r. = 0°. Na 30 sekunden geeft S nog negatieve afwijking, stellig meer dan S′.

c. b.r. met S′ = — 5°. Inwerking van S op rechteroor, gedurende 2′: groot effect, b.r. = — 85°; S′, bij afwisseling, b.r. constant = — 5°.

Intensiteit van linkeroor zooveel verminderd (toch nog grooter gebleven dan die van rechter), dat b.r. = 0°.

a′. b′. c′. Herhaling der proeven *a.*, *b.*, *c.*, met overeenkomstig resultaat: b.r. komt echter in *b′* en *c′* niet verder dan = 45°.

Blijkbaar is dus de gevoeligheid grooter, wanneer D. een klein negatief overwicht der b.r. laat bestaan: dit kan dus voordeelig zijn, om voor nog kleinere verschillen in trillingsaantal het verschil tusschen S en S′ te constateeren.

D. nam verder proeven met S 250, S′ 245 d. trillingen.

a. Zwakke klem op linker oorbuisje, waarbij b. r. + 10°.

Inwerking S op linkeroor, ruim 2′, krachtige toon: b.r. = + 70°, S′, bij afwisseling, = + 10°; S′ b.r. allengs verminderende van + 70° tot + 10°, waarmede b.r. voor S en S′ gelijk zijn.

Het oorspronkelijke overwicht op het rechteroor, door verzwakking van den toon op het linker, bleek ook hier voordeelig.

Voor S 250, S′ 247 trillingen verkreeg D. hetzelfde resultaat.

Eindelijk bij 100 zwevingen in de minuut, bij een verschil dus van $1\frac{2}{3}$ trilling, was het resultaat in zoover afwijkend, dat nu ook S′ binotisch een afwijking gaf, hoewel eene geringere dan S.

a. Inwerking S op rechteroor, gedurende 2′, krachtige toon: b.r. = + 50° voor S, + 30° voor S′.

b. Inwerking op linkeroor, ruim 1.5′: b.r. voor S — 60°, voor S′ 0°.

c. Onder gunstige omstandigheden, inwerking op linkeroor, 1.5′:

bij verzwakte tonen, achtereenvolgens: S + 70°, S' + 10°, S + 50°, S' + ?, S + 20°, S' 0°.

Na 30″: S 0°, S' 0°.

H. verkreeg in tal van proeven, bij zeer uiteenloopende toonsverschillen van S en S', gelijke resultaten als D.

Proeven met grooter verschil tusschen S en S', die, na prikkeling en afstomping voor S, geen wijziging hoegenaamd van S' gaven, gaan wij met stilzwijgen voorbij. Dit gold nog bij S 250, S' 245. Bij een verschil van slechts 100 zwevingen in de minuut was daarentegen, na inwerking van S, de verandering der binotische-directie voor S en S' nagenoeg gelijk, niettegenstaande het hoogte-verschil nog juist werd aangegeven. Alleen met de verzwakte tonen werd ook door H. de verandering der binotische richting voor S' altijd kleiner gevonden dan voor S.

Waarschijnlijk is ons geworden, dat verschil in de afwijking der binotische richting zal te constateeren zijn, zoolang duidelijk verschil in toonshoogte tusschen S en S' te herkennen is.

De hier gevolgde methode is gegrond op de aanwijzing voor de richting van het hooren, voortvloeiende uit het verschil van intensiteit van den toon in de beide ooren. Inderdaad is dit verschil daarvoor het gewichtigste element. Maar in de laatste jaren hebben merkwaardige proeven en beschouwingen bewezen, dat ook verschillen van timbre en van phase en zelfs meerdere of mindere bekendheid met het timbre daarvoor niet zonder beteekenis zijn. Ons was het te doen, deze elementen bij onze proeven zooveel mogelijk uit te sluiten, en daarom verdienden de bijna enkelvoudige tonen van de stemvork, met gelijke lengten der geleidbuizen voor de beide ooren,

dus zonder verschil van phase der aankomende geluiden, de voorkeur. Wie nader wenscht te kennen, welke factoren bij 't bepalen der richting werkzaam zijn, raadplege Silvanus P. Thompson (On the function of the two ears in the perception of space. Philos. Magaz. Vol. XIII. 1882. p. 406), die de nieuwste litteratuur heeft verzameld en, na een kritisch en zelfstandig experimenteel onderzoek, zijn resultaat samenvat in de volgende woorden: „Judgments as to the direction of sounds „are based, in general, upon the sensation of different in„tensity in the two ears; but the perceived difference of „intensity upon which a judgment is based is not usu„ally the difference in intensity of the lowest or funda„mental tone of the compound sound (or „clang"), but „upon the difference in intensity of the individual tone „or tones of the clang for which the intensity difference „had the greatest effective result on the quality of the „sound."

3. *Verandering van het timbre, door afstomping van zekere partiëele tonen.*

Wij hebben boven (bl. 2) gezien, dat, naar de theorie van Helmholtz, de trillingswijzen van samengestelde klanken, aan het trommelvlies medegedeeld, door de keten der gehoorbeentjes voortgeplant, in de cochlea in enkelvoudige sinus-trillingen worden ontleed.

Zuiver is evenwel die analyse niet, althans niet voor zeer groote amplituden. Dit vindt dáárin zijnen grond, dat bij dergelijke amplituden de correspondeerende elastische krachten daaraan niet meer volkomen evenredig zijn. In dit geval, namelijk, voegen zich bij de trillingen van den resoneerenden toon nog zoodanige, die aan zijne harmonische boventonen beantwoorden.

Dit geldt in de eerste plaats voor stemvorken: bij zeer sterken aanslag van een stemvork van slechts 64 trillingen, die daarbij uitslagen maakte van bijna een centimeter, kon Helmholtz [1]) met resonatoren de boventonen tot den vijfden, d. i. tot dien van 320 trillingen hooren. Maar ook in het oor, en wel bepaaldelijk in het trommelvlies, met zijn asymmetrischen bouw, en in de losheid van het hamer-aanbeeld-gewricht, ligt de grond voor het ontstaan van afwijkingen, waaruit boventonen voortvloeien, die in de daarop werkende geluidsgolven niet lagen opgesloten.

Een krachtige enkelvoudige toon zou dus in de geleidende deelen van het oor een trilling voortbrengen, die, in de cochlea geanalyseerd, *boventonen* zou laten onderscheiden.

Helmholtz meent in een zeker „Klirren," bij het inwerken van een zeer sterken lagen toon, en in zekere combinatie-tonen daarvan het effect te vinden.

J. J. Müller nu stelde zich voor, den invloed dier boventonen op het timbre aan te toonen. Hij meent dit te kunnen bereiken, door het oor voor een der boventonen af te stompen. Hij gebruikt daartoe stemvorken en wel in de eerste plaats van n, 2 n en 3 n (60, 120, 180) trillingen. Nadat hij 2 of 3 n lang voor het eene oor gehouden had, vond hij den klank van n op dat oor „deutlich weicher, leerer, und etwas schwächer", dan op het andere, wat hij aan afstomping van het ééne oor voor den boventoon 2 n, resp. 3 n, toeschrijft. Gelijke proef deed hij met stemvorken van hoogeren toon, den stemvorktoon 2 n uit resonator ontvangende langs een gaffelswijs verdeelde buis, met beide einden in de

1) Helmholtz l. c. S. 263.

ooren, aan ééne zijde echter dichtgedrukt, en daarna den grondtoon in de plaats stellende en, door afwisselend een der buizen te sluiten, den klank op de beide ooren vergelijkende. En met gelijk resultaat: „im ermüdeten „Ohr war der Ton stets weniger klangreich und schien „etwas schwächer.”

Wij hebben de proeven van J. J. Müller met dezelfde stemvorken, op blok bevestigd, van 60, 120 en 180 d. trillingen in 1″ herhaald, zonder ons van de verandering van timbre door het hooren van 2 *n* en 3 *n* te kunnen overtuigen. Daarmede zij echter niet gezegd, dat wij zijn uitkomsten betwijfelen, en hopen daarom ook gelegenheid te vinden, die proeven nog eens op te vatten.

De vraag, die Müller zich stelde, liet zich wel op geen andere wijze oplossen: entotische boventonen laten zich door een resonator niet versterken en zijn dus slechts aan verandering van timbre te herkennen. Maar geldt het afstomping voor objectieve tonen, dan kan men een meer directe methode volgen. Men kan, namelijk, vóór het eene oor korter of langer tijd een der boventonen als enkelvoudigen toon laten hooren, en onderzoeken, of dat oor, voor dien toon nu minder gevoelig geworden, een gewijzigd timbre hoort. A priori reeds twijfelde Müller daaraan niet. Had zijne *n objectief* 2 *n* doen hooren, wat in zijne proeven niet het geval was, dan zou „selbstverständlich”, zegt hij, de werking op de afgèstompte vezelen tot de verandering in timbre hebben moeten leiden. Intusschen is ook voor objectieve tonen, zooals ons gebleken is, op directe wijze althans, afstomping niet zoo gemakkelijk aan te toonen.

Wij beproefden, onder anderen, de boventonen eener opene pijp van *n* trillingen te verzwakken door het oor met een pijp van 2 *n* af te stompen. In de buis van *n* zijn 2*n*,

$3n$, $4n$, enz. als boventonen aanwezig en met den resonator gemakkelijk te hooren. Wij beproefden nu het effect te constateeren van afstomping met den klank voor een pijp van $2n$, waarin naast $2n$, ook $4n$, $6n$, enz. als boventonen voorkomen. Voor elk der pijpen van n en $2n$ werd de drukking afzonderlijk zoo geregeld, dat geen zwevingen te hooren waren en nu één der ooren aan de volle kracht van $2n$ (en zijn boventonen) blootgesteld: na 1' was de klank van n, die, door een elastische buis met de soufflerie verbonden, voor elk der ooren kon worden gebracht, voor het afgestompte oor bij gelijke intensiteit iets weeker, lediger dan voor het andere. — Of ook het timbre der vocaal *o*, op B = 120 gezongen, na afstomping door een stemvorktoon van *b* en *b'* iets van zijn karakter verloor [1]), was H. twijfelachtig. Evenwel de a-snaar eener guitaar, die, nabij het einde met den duim krachtig aangeslagen, een merkwaardig timbre met intensieve boventonen, zelfs zonder resonator, laat hooren, verloor iets daarvan op het oor, dat aan den klank van pijpen van $2n$, $3n$ en $5n$, op dezelfde soufflerie naast elkander aangeblazen, was blootgesteld geweest. Intusschen zijn al deze veranderingen in timbre veel moeilijker te constateeren dan de verandering der directie bij het binotische hooren, en bovendien niet in graden te meten, zooals deze. Voor ons doel was er dus geen reden, aan het onderzoek over timbre-verandering door afstomping voor zekere boventonen veel tijd te wijden.

1) Verg. Helmholtz. Tonempfindungen. S. 103.

IV. Afstomping na onregelmatige geluiden.

Tot dusverre heeft men zich weinig of niet bezig gehouden met het onderzoek der afstomping na onregelmatige geluiden. Mach deelt elders een proef mede, die daartoe zou zijn terug te brengen. Wanneer men in een gewone kamer een kort geluid voortbrengt, b. v. door een slag met stok of liniaal op een tafel, dan hoort men dien slag, zonder meer. Sluit men daarentegen de ooren, en trekt men snel de handen weg, onmiddellijk na den slag, dan hoort men een krachtige terugkaatsing van den wand, meestal het sterkst van achter en boven. Bij het herhalen der proef vonden wij, dat na $^1/_{40}$ sek. de directe slag niet meer gehoord wordt, dat de terugslag nu het sterkst is, dat hij vrij regelmatig afneemt met den tijd, die er tusschen slag en ontblooting verloopt, en bij ontblooting $^1/_2$ sek. na den slag, — nauwelijks meer gehoord wordt. Om over het effect te oordeelen, moet men zelf de proef doen: men staat dan verbaasd over de kracht en den duur van den teruggekaatsten slag, terwijl men den slag zelf niet gehoord heeft. De onderstelling is nu, dat de slag bij onbedekte ooren deze voor een korten tijd heeft afgestompt en ongevoelig gemaakt voor den terugslag. Mogelijk is het ook, dat bij onregelmatige groote trilbewegingen van den slag 1) de gereflecteerde stoten niet geheel tot haar recht komen.

Dat gelijktijdig bestaande geluiden belemmerend inwerken op onze gehoorscherpte voor andere, weten wij bij dagelijksche ervaring uit het gewone leven: waar we

---

1) Zie bij Hensen (Hermann „Handb. der Physiol." B. III, 2e Abth. S. 19) de figuren van een slag, met den phonautograaf verkregen.

nauwkeurig naar iets willen luisteren, wenschen we eene stille omgeving. Dat een lang verblijf nabij een machine, die veel geraas maakt, ons oor onaangenaam gaat aandoen, weten we eveneens; dat arbeiders in ketelfabrieken en stokers op locomotieven vaak hulp inroepen wegens verkregen hardhoorendheid is ieder oorarts bij ervaring bekend. In dergelijke gevallen hebben we echter meestal met nog zoovele andere factoren rekening te houden, dat we ze niet in de rij onzer physiologische waarnemingen als bewijzen van afstomping mogen aanvoeren.

Op onzen weg ligt het te onderzoeken:

1°. of tijdelijke inwerking van een onregelmatig geluid op een normaal oor daarin verschijnselen van voorbijgaande afstomping in 't leven roept, en, zoo ja, 2°. van welken aard die afstomping is.

Onder onregelmatige geluiden of geruischen hebben we te verstaan: geluidsgolven van niet periodieke trillingen. Om dergelijke krachtige geluiden te voorschijn te roepen, werden door ons achtereenvolgens gebezigd: een electrische schel, een groote ratel, herhaald slaan van een stok op een platte tafel, slaan met een stok tegen een plaat van blik, met een ijzeren hamer op een aanbeeld. De proeven strekten allen, om de afstomping van één oor na te gaan, ten opzichte

a. van andere geruischen en

b. van tonen,

al of niet door vergelijking van het eene met het andere oor.

Voor *a* werden genomen:

horloge-tik, het tikken van een paar nagels op elkaar, een met vilt bekleed valhamertje, enz.

Voor *b.* stemvorktonen en fluisterspraak.

De eerste proeven geschiedden met een krachtig klinkende electrische bel: vóór de inwerking werd de af-

stand bepaald, waarop ieder oor het tikken van 't horloge hoorde en onderzocht, of de resp. stemvorken door ieder oor afzonderlijk even goed werden gehoord, zoowel bij geleiding langs caoutchouc-buizen met olijven, als door de lucht. H. richtte de proef in als volgt: de gehoorscherpte voor den stemvorktoon, die langs de buis zijn weg tot het oor vond, werd voor beide ooren gelijk gemaakt, door met een klemschroefje den toevoer van het geluid naar het best hoorende (linker) oor te verminderen. De horloge-afstand werd gevonden te zijn voor het linkeroor 1.7 M., voor 't rechter 1 M. Terwijl nu het rechteroor met een caoutchoucdop gesloten was, werd gedurende 15′ de sterk klinkende electrische schel voor het linkeroor gehouden: onmiddellijk daarna werd de dop van 't andere oor verwijderd en als horloge-afstand gevonden:

	Links:	Rechts:
	0.05 M.	0.55 M.
na 3′	0.1 „	0.6 „
„ 7′	0.2 „	0.6 „

De door de thans weer in de ooren gestoken buizen voortgeleide zwakke stemvorktonen werden, zoo links als rechts, zeer goed gehoord: afstomping hiervoor bleek niet.

Na 10′, horloge links 0.45 M., rechts 0.65 M.

Links bestond aanhoudend suizen.

Na 30′, links 0.57 M., rechts 0.74 M.

Eene in een aangrenzend vertrek staande stemvork met resonance-kast werd links zelfs beter gehoord dan rechts.

Bij herhaling der proef op een anderen dag werd voor het horloge hetzelfde gevonden en werden zacht aangeslagen stemvorken van verschillende toonshoogte op korten afstand beurtelings voor ieder der ooren

gehouden: een sterker hooren van deze op het getroffen dan op het niet getroffen oor bleek hierbij niet.

Experimenten op gelijke wijze ook door anderen (Kagenaar, Dr. Waelchli) genomen met den ratel en met slagen op de tafel, leerden, we mogen zeggen, zonder uitzondering, dat, na lang inwerken van het geruisch op één oor, de gehoorscherpte van dat oor voor andere geruischen op treffende wijze was afgenomen, terwijl vermindering der gehoorscherpte voor stemvorktonen en voor fluisterstem niet te constateeren was. Daar het aldus bleek, dat krachtige geruischen voor stemvorktonen, die geen hooger trillingsaantal hadden dan 500, niet deden afstompen, bleef ons over, na te gaan, of dit insgelijks gold voor toonshoogten, die meer nabij de grens van de hoogst hoorbare gelegen zijn. Wij maakten daarbij gebruik van ons capillairbuisje (fig. 2.) Bij mij zelven verrichtte ik de proef, als volgt:

De toon, voortgebracht door 't capillair buisje beantwoordde aan $n = 18094$. Vóór de proef hoorde ik dezen toon met het linkeroor duidelijk, gedurende 9 sekunden, den horloge-tik op een afstand van 1.5 M. Bij onbewegelijk hoofd, het rechteroor met dop gesloten en $l\,l'$ (fig. 2) dichtgeknepen, werd gedurende 5′ vlak bij het linkeroor met een stok op een blikken plaat geslagen: onmiddellijk daarna, de tanden als te voren in de moule, hoorde ik het horloge op een afstand van slechts 0.75 M., na opening van $l\,l'$ den hoogen toon, duidelijk, maar wel iets zwakker, en ook iets korter dan 9 sekunden.

Een tweede proef, waarbij als geraasmakende factor gebruikt werd een aanbeeld, waarop met hamers werd geslagen, leverde bij mij hetzelfde resultaat.

Kagenaar onderwierp zich aan dezelfde proef op

gelijke wijze: een iets lagere toon werd door hem 6″ gehoord in het linkeroor, het horloge op 6 d.M afstand van het oor. Gedurende 5′ werd krachtig met hamers op het aanbeeld geslagen: onmiddellijk daarna hoorde hij den toon weer ongeveer 6″, maar zwakker dan vóór de proef, terwijl de horloge-afstand van 6 d.M. tot 3 d.M. was teruggebracht.

Ook voor Hamburger verdween de hooge toon niet, na 5 minuten inwerken van het hamer-aanbeeld geraas; wel meende hij steeds den toon zwakker te hooren dan vóór de proef.

Zeker verdienen de trilbewegingen van een knal, een slag, van brommen en suizen nog nader met phonautograaf en veranderlijke resonatoren onderzocht te worden en in verband gebracht met de afstomping, die na hare inwerking op het oor volgt. Er komen brommende geruischen voor, waarin, als in het licht, over zekere uitgebreidheid, alle trillings-snelheden schijnen vertegenwoordigd te zijn.

V. Resultaten, in betrekking tot de theorie, en verdere beschouwingen over de energieën van oog en oor.

De theorie van Helmholtz onderstelt, zooals wij zagen (bl. 88), dat de trillingswijze van samengestelde klanken, in de cochlea, in enkelvoudige sinus-trillingen wordt ontleed, die voor iederen trillingsduur haar omschreven gebied hebben, en hier de zenuwvezelen prikkelen, welker energie de correspondeerende toonshoogten vertegenwoordigt.

Met deze leer zijn de resultaten onzer proeven in 't algemeen in overeenstemming.

Zoo vinden wij, in de eerste plaats, dat de afstomping zich hoofdzakelijk bepaalt tot den toon, die inwerkte, d. i., volgens de theorie, tot de geprikkelde vezel. Strekt ze zich, in zekere mate, ook tot de aangrenzende tonen uit, zoo bewijst dit, — wat ook de theorie mocht onderstellen: dat een enkelvoudige toon niet slechts de daarmede volkomen samenstemmende fibrillen in trilling brengt, maar ook in zekere mate de daaraan grenzende en zoodoende ook verscheidene vezelen irriteert (allen proportioneel aan afstomping onderworpen), van welker gezamenlijke irritaties het zwaartepunt ligt in den gehoorden toon. Dat deze toon werkelijk de summatie is van verscheiden tonen, met klein verschil in hoogte, blijft onmerkbaar, omdat die tonen enkel subjectief zijn en zwevingen dus ontbreken. Bij allengsche verandering nu van den trillingsduur verschuift dat zwaartepunt gestadig, om weldra een verplaatsing te bereiken, waarbij de toon zich als hooger of lager karakteriseert: de daartoe gevorderde verplaatsing bepaalt wat men de fijnheid noemt van het gehoor. Netvlies en huid verhouden zich op gelijke wijze tegenover de inwerking en het voortschrijden resp. van een lichtpunt en de punt eener naald.

Bij zeer hooge tonen komt, zooals wij zagen (bl. 93 e. v.) een complicatie voor: de toon verdwijnt na korten duur, niet door afstomping, maar door overgang van den tetanus, waarmede het aanhouden van den toon te vergelijken is, in het effect van den constanten stroom, waarbij het hooren ophoudt. Maar, volkomen in overeenstemming met de theorie, verschijnt de toon op nieuw bij 't geringste dalen, ook wanneer hij dan nog tot de inconstante blijft behooren. En komt hij niet evenzeer terug bij het stijgen, zoo is het de vraag, of, bij de geringe verhooging, waarover men beschikken kan zonder

den toon absoluut onhoorbaar te maken, de dan getroffen vezelen niet reeds den invloed der voorafgegane trillingen genoegzaam hadden ondervonden en eenvoudig in haren toestand volhardden. Men bedenke, dat ook een verandering van toonshoogte voor zoo kleine verschillen hier niet meer te hooren is. Wij hebben dus geen recht de waargenomen verschijnselen als strijdig met de theorie te verklaren.

Eindelijk, wat het effect van onregelmatige klanken betreft, is het wel opmerkelijk, dat de afstomping voor korte geluiden, zooals het tikken van een horloge, zich zooveel meer doet gevoelen dan die voor regelmatige tonen. Tot verklaring daarvan dienen de onregelmatige geluiden nader bestudeerd te worden. Bovendien is het de vraag, in hoeverre, ten aanzien van geluiden, die het karakter van regelmatige tonen missen, andere deelen van het inwendige oor, bepaaldelijk de vliezige deelen van het vestibulum, een bijzondere beteekenis hebben.

Het zal den lezer niet ontgaan zijn, dat wij de afstomping bestudeerden in bepaalde gehoorzenuwvezelen, in vergelijking met de zenuwvezelen van een deel van 't gezichtsveld (verg. bl. 89). Zoodoende werden de toonshoogten der eerste met het plaatsgevoel der laatste in verband gebracht. In betrekking daartoe, zij het mij geoorloofd hier eenige beschouwingen, die uit gesprekken met Prof. Donders zijn voortgevloeid, te laten volgen.

De gewone opvatting is deze, dat toonshoogte én kleur de analoge energieën zijn van den gehoor- en den gezichtszin. „Wie das Ohr", zegt Helmholtz, „Schwin- „gungen von verschiedener Dauer als Töne [1]) verschiede-

---

1) Tonempfindungen, S. 244.

„ner Höhe auffasst, erregen Aetherschwingungen von ver-„schiedener Dauer im Auge die Empfindung verschiedener „Farben.” Hij vergelijkt verder de „Gesichtserscheinungen, „die sich auf Farbe beziehen”, met de „Verschiedenheiten „der Qualität des Tones, nämlich Tonhöhe und Klang-„farbe”, — de eerste zoowel als de laatste gebonden aan specifieke zenuwvezelen, waarvan iedere vezel dan verder alleen „Unterschiede der Stärke der Erregung” hebben zou.

Dat aan beide — aan verschillen van kleur en van toonshoogte — verschillen van trillingsduur ten gronde liggen, gaf gereede aanleiding, beide voor analoog te houden. Maar die trillingen zelve behooren tot geheel verschillende orden. Voor ééne trilling der menschelijke stem een *billioen* trillingen van het zichtbare spectrum! Deze brengen de moleculen en atomen in beweging en geven photochemische processen, gene daarentegen de kleine massas en werken rechtstreeks zuiver mechanisch.

Om de analogie te bewijzen van toonshoogte en kleur, hebben wij dus andere gronden noodig: staan ze althans in gelijke betrekking tot de zenuwvezelen?

Wat de geluidsindrukken betreft, heeft Helmholtz in het licht gesteld, hoe morphologie, physica en physiologie, in de schoonste overeenstemming, er toe leiden, onderscheidbare toonshoogten aan afzonderlijke zenuwvezelen te verbinden. En Thomas Young had, zooals wij weten, reeds veel vroeger voor zijne drie fundamenteele energieën van den kleurzin, op iedere gevoels-area van het netvlies, drie vezelen gepostuleerd. Bij het ontwerpen zijner theorie was Young daartoe alleszins gerechtigd. Men kende destijds noch de eindiging der gezichtszenuwvezelen noch hare peripherische elementen. Maar nu gebleken is, dat er slechts gelijksoortige kegels en

staafjes, in de fovea centralis enkel gelijksoortige kegels te vinden zijn, moet de onderstelling, als strijdig met de werkelijkheid, vervallen. In Helmholtz zal ze ook zeker geen verdediger vinden. Wel is waar, verklaart hij in zijn „Tonempfindungen" (S. 244), dat de twee hypothesen, zijne eigene, betreffende den gehoorzin, en die van Young, betreffende den kleurzin, „die Vor-„gänge in den Nerven der beiden vornehmsten Sinne des „Menschen auf dasselbe einfache Schema zurückführen, „welches wir von den Bewegungsnerven kennen." Maar in zijne physiologische Optik" (S. 292) merkt hij zelf op, dat de hypothese der drie vezelen „nicht das wesentliche ist" der theorie van Young. Hij houdt zich aan deze „in der ursprünglichen, handgreiflicheren Gestalt, die eine „grössere Bestimmtheit der Vorstellung und des Ausdrucks „giebt, *wenn auch nur im Interesse der Darstellung*", en zegt met zooveel woorden, dat de theorie even voldoende zijn zou, „wenn man die Annahme machte, dass innerhalb „jener einzelner Faser dreierlei von einander verschiedene „Thätigkeiten auftreten könnten." Afgezien nu daarvan, dat de morphologie, bij de volkomenheid, die zij alreeds bereikte, in gebreke blijft, aan de hypothese der drie vezelen de hand te reiken, nopen ons positieve gronden van algemeenen en van bijzonderen aard [1]), om in dezelfde vezel der gezichtszenuw meer dan één proces aan te nemen. En zoo luidt ons antwoord op de gestelde vraag ontkennend, namelijk: dat, terwijl elke onderscheidbare toonshoogte haar eigen vezelen heeft, er geen grond bestaat de verschillende processen der kleursensatie aan afzonderlijke vezelen te verbinden.

---

1) Verg. o. a. Donders, in Ann. d' Oculistique. T. LXXXVII. p. 205. 1882..

En hiermede hangt het samen, dat de kleuren gemengde sensaties vormen, de toonshoogten zelfstandig blijven; dat alle kleuren zich vormen uit een klein aantal fundamenteele, bij de tonen zooveel energieën te onderscheiden zijn als toonshoogten; dat de kleuren met hare overgangen, in een bepaalde orde, zich rangschikken in een cirkel, met typische kleuren en keerpunten, de tonen een enkele reeks vormen van de hoogste tot de laagste, zonder speciëel karakter, aan deze of gene eigen; dat, eindelijk, naast de kleuren (de verschillende partiëele processen) zich, als totaal-proces, het neutrale wit vertoont [1]), waarvan bij de tonen het analogon niet te vinden is.

Zoo komen wij terug tot ons uitgangspunt: de analogie der toonshoogten — niet met de kleuren, maar met de plaatsmerken, de „Localzeichen" (Lotze). Inderdaad is aan ieder gevoel in het oog en op de huid, afgescheiden van het karakter van kleur, van temperatuur en drukking, een kenmerk van plaats verbonden. In de gehoorzenuw ontbreekt dat merk, als zoodanig. Kunnen wij oordeelen over de richting, waarin het geluid tot ons komt, 't is alléén krachtens de ongelijke effecten van hetzelfde geluid op de beide ooren en eenigermate uit eigenaardige veranderingen van een bekend timbre, in verband met de richting, waarin de respectieve golven het oor bereiken (verg. bl. 123). De vezelen der gehoorzenuw missen dus het plaatsmerk. Wat voor het „Localzeichen" in de plaats treedt, als verbonden aan iedere vezel, dat is de onderscheiding van toonshoogte. Evenals de eindorganen met hunne plaatsmerken, liggen die van hoogte-verschillen in een bepaalde orde, die zich voor beide ook in 't centraal-

1) Verg. Onderzoekingen physiol. labor. D. VI. bl. 100.

orgaan gewijzigd schijnen te herhalen. En, evenals in de huid en in het netvlies, smelten de indrukken der onmiddellijk aan elkander grenzende elementen tot één sensatie samen. Bij den aanleg der respectieve organen, zoo stellen wij ons voor, werd met de vermeerdering der weefselelementen, in verband met hunne dispositie, aan elk element, naast de algemeene energie, het resp. merk reëel of virtuëel verbonden. Bij de genetische verklaring houde men in het oog, dat, gaven de gehoorvezelen slechts een stijgende reeks van toonshoogten, onverschillig naar welke functie, de geluidsgolven zelve, met hare interferenties, daarin de harmonische betrekking der tonen, in verband met den trillingsduur, en het timbre, in verband met resonance, noodwendig moesten te voorschijn roepen, terwijl de plaatsmerken in het oog en op de huid, in verband met wederzijdsche contrôle, onder den invloed der ervaring, de voorwaarden vonden voor hunne ontwikkeling.

Zoo schijnt er inderdaad voldoende grond, om in plaatsmerken en toonmerken homologe energieën te zien. Op een gewichtig punt van verschil moge echter worden gewezen. Het plaatsmerk is als een uitwendige stempel. Naast hare specifieke sensatie, bij alle verschillen van kleur en intensiteit, brengt iedere gezichtszenuw-vezel haar eigen plaatsmerk mede. Aan het directe zien beantwoordt de fovea centralis, en de haar omringende punten hebben, in verband met hunne ligging, ieder hunne correspondeerende richting in betrekking tot het gefixeerde. Doch waarin bestaat dat merkteeken? Loffelijke pogingen zijn aangewend, om voor verschil van plaats verschil in de sensatie zelve op te sporen; maar aannemelijk schijnt het niet, dat grond en oorsprong van het plaatsmerk daarin zouden gevonden zijn. Dit geldt voor de

huid zoowel als voor het oog: men herkent de plaats die getroffen is, maar hoe en waardoor — daarvan kan men zich geen rekenschap geven.

Daarentegen herkennen wij verschil van toonshoogte ontwijfelbaar in de sensatie, als zoodanig. Zij is er een integreerend deel van. De hoogste tonen, zegt Preijer, zijn als de steek eener fijne naald; breed daarentegen is het geluid der lage tonen. Dat zijn kenmerken, die den klank zelven betreffen. Er is dus een gewichtig punt van verschil tusschen plaatsmerk en toonmerk. Mogelijk is het evenwel, dat het later blijken zal minder essentiëel te zijn, dan het zich thans voordoet.

Beantwoordt nu de toonshoogte werkelijk aan de plaatsmerken, dan rijst de vraag, of in de gehoorvezel ook nog iets schuilt van de verscheidenheid der sensatie, die wij aan de vezelen der overige zintuigen, buiten het plaatsmerk, toekennen.

Vroeger lag het voor de hand, verschil van timbre als zoodanig op te vatten. Maar de verklaring daarvan (door Ohm en door Helmholtz) uit de trillingswijze en hare analyse in sinustrillingen scheen aan alle eischen te voldoen. Toch mag men vragen, of qualitatief verschil van prikkeling derzelfde vezel met correspondeerend verschil van sensatie dan geheel zou zijn uitgesloten. De theorie onderstelt, dat de trillingswijze in zuivere sinustrillingen wordt geanalyseerd en dat iedere vezel der membrana spiralis slechts voor éène enkelvoudige sinustrilling vatbaar is. Analyseeren wij een klank met kogelvormige resonatoren, dan krijgt inderdaad ieder resonator slechts zijn correspondeerende sinustrilling. Maar analyseeren wij den klank met snaren, dan neemt iedere snaar daaruit niet slechts haren grondtoon, maar ook haar boventonen op. Dit is bijv. het geval bij het schoone experiment van Helm-

h o l t z [1]), dat de verschillende vocalen door resonance in de vrije snaren van het klavier doet weerklinken. Prof. D o n d e r s liet mij een treffende proef hooren op een guitaar met slechts 2 snaren, een zilveren A-snaar, en de gewone *g*-snaar op *a* gestemd, volkomen zuiver het octaaf van A. Terwijl de vinger op het midden der A-snaar rust, wordt ze niet ver van haar boveneinde met den duim krachtig aangeslagen, waarbij ze haar octaaf *a* laat hooren, met zeer sterke boventonen, een timbre, geheel afwijkende van den klank der *a*-snaar zelve, waar ook aangeslagen. Maar deze laatste, recht zuiver gestemd, laat zich ook door de *a* der A-snaar krachtig in trilling brengen, en haar timbre is daaraan dan zoo volkomen gelijk, dat men, na het dempen der A-snaar, deze meent te hooren doorklinken en zich eerst overtuigt de *a*-snaar gehoord te hebben, als men daarop ook deze dempt. Blijkbaar gaat dus de trillingswijze der halve A-snaar geheel op de *a*-snaar over.

Door het aanslaan van *a*, *a* 8° enz. op de *a*-snaar kan nu ook verder A (resp. met één, met drie knoopen, enz.) in trilling geraken en den toon *a*, *a* 8° enz., met timbre, eenigszins naderende tot dat der *a*-snaar, doen hooren.

Zouden nu ook de langere vezelen althans der membrana spiralis niet partiëel in een of meer boventonen trillen kunnen? Zoo ja, dan zullen ze ook die boventonen van den klank overnemen, van een vocaal bijv., op gelijke wijze, wanneer ook veel zwakker en (bij minder bepaalden eigen toon) onregelmatiger, als de snaren van het klavier in de proef van H e l m h o l t z.

En wat die vezelen overnemen deelen ze alvast in den vorm der mechanische irritatie aan de zenuwvezelen mede,

---

1) Tonempfindungen. S. 65.

waarbij immers ook wijziging van den vorm der geleidingsgolven in de zenuwgeleiding te wachten is: dat deze voor vormwijziging in hooge mate vatbaar zijn, ligt opgesloten in den korten duur der trillingen, die nog tot haar recht komen, zonder in het effect van den constanten stroom over te gaan (vergl. bl. 103). Duidelijk is het bovendien, dat, wanneer de vorm der trillingen voor de zenuwvezel onverschillig ware, in de medetrilling der vezelen van de membrana spiralis een deel der trillingswijze van den klank voor het timbre zou verloren gaan. — Op deze wijze nu kunnen wij ons voorstellen, dat ook in iedere zenuwvezel op zichzelve de trillingswijze der fibrillen tot het karakteriseeren van het timbre bijdraagt.

Uit het laatste guitaar-experiment (het resoneeren van A bij het aanslaan van *a*) volgt, dat een enkelvoudige toon van *n* trillingen in 1″ niet slechts elastische fibrillen van *n* eigen trillingen, maar ook die van *n* : 2 (met één knoop), en verder van *n* : 3 (met twee knoopen) enz., doet medetrillen. Zouden dan ook niet de fibrillen der membrana spiralis met eigen toon van *n* : 2 de trillingen van *n* kunnen aannemen met een knoop? Zoo ja, dan zal de enkelvoudige toon van *n* ook eenigermate dien van *n* : 2 doen hooren. En nu verdient het zeker de aandacht, dat juist enkelvoudige tonen bijzonder dof en laag klinken, en dat men zeer geneigd is ze voor een octaaf lager te houden dan ze werkelijk zijn [1]): die toon *n* : 2 zou subjectief of liever entotisch kunnen aanwezig zijn en zich als subjectieve entotische ondertoon in den klank kunnen doen gelden, terwijl de boventonen er in ontbreken. Deze onderstelling mocht te eer worden uitgesproken, omdat de mogelijkheid

1) Vergel. Helmholtz, Tonempfindungen. S. 119.

bestaat, ze experimenteel te toetsen. De weg moet daartoe worden ingeslagen, dien J. J. Müller volgde (verg. boven bl. 125), om te onderzoeken, of van zeer sterke enkelvoudige tonen entotisch boventonen worden voortgebracht. Men zou nu den ondertoon *n* : 2 moeten afstompen en onderzoeken, of daarna *n* hooger en lediger klinkt en niet meer met *n* : 2 te verwarren ware. Terwijl bij de herhaling der proeven van Müller het effect der afstomping ons niet recht duidelijk geworden was, hebben wij ons aan de laatste proef nog niet gewaagd.

Zoo zouden in de vezelen der gehoorzenuw, evenals in andere zintuigzenuwen, verscheidenheid der sensaties ook met verscheidenheid der processen in verband staan, die, terwijl ze in de peripherische elementen al aanstonds begonnen met verscheidenheid der photochemische werking, zich in de vezelen der gezichtszenuw ook als chemisch verschillende processen konden voortplanten, in die der gehoorzenuw, in verband met de mechanische irritatie, zich tot den vorm der geleidingsgolven zouden bepalen.

De hier medegedeelde beschouwingen brengen een nieuw element in de productie van het timbre. Komt het als zoodanig in aanmerking, dan zou, zooals men bij eenige overweging gereedelijk zal inzien, de betrekkelijke moeilijkheid, om in elk timbre de partiëele tonen te onderscheiden, minder raadselachtig zijn. Overigens verwerpe men de onderstelling niet, omdat de theorie schijnbaar reeds voldoende van de verschillen van timbre rekenschap gaf. De ontwikkeling van een organisme gaat met alles te rade, 's menschen hand slechts met één doel en één middel. Natuurkeus verzuimt niets, kunstkeus alles — behalve het éene wat zij beoogt.

BEWEGINGEN DER KEGELS VAN HET NETVLIES ONDER DEN INVLOED VAN LICHT EN DUISTER.

MEDEGEDEELD DOOR

TH. W. ENGELMANN.

(Zie Proces-verb. van de Zitting der K. Akademie van wetensch. te Amsterdam, Afdeel. Natuurkunde, 29 Maart 1884.)

Deze tot dusverre geheel onbekende verschijnselen werden in November 1883 in het physiologisch laboratorium te Utrecht door den Heer A. G. H. van Genderen Stort ontdekt, die zich sedert dien tijd met het verder onderzoek er van bezig houdt. Zij kunnen in hoofdzaak kort aldus geformuleerd worden:

De binnenleden der kegels verkorten zich onder den invloed van licht en verlengen zich in het duister.

Bij kikvorschen, die in gewoon daglicht hebben vertoefd, zitten de kegels met breede basis op de membr. limitans externa; na verblijf in het duister vindt men ze meer of minder dicht tot het pigment-epithelium genaderd, in maximo (na 1—2 dagen) tot zoover, dat de toppen der buitenleden bijna de cellichamen raken. Het basale gedeelte der overigens weinig van vorm veranderde binnenleden is dan in een tot 0.05 m.m. lange, zeer dunne vezel verlengd, die aan de limitans zich onder verbreeding op het kegelkorreltje voortzet.

Bij vogels (duiven) verkorten (respectievelijk verlengen) zich de binnenleden meer over hunne geheele uitge-

strektheid. De lengteverschillen kunnen ook hier meerdere honderdsten van een millimeter bedragen. Alle soorten van kegels, op alle onderzochte plaatsen van het netvlies, ondergaan deze vormveranderingen. Eenige nadere aanwijzingen bevat de volgende door den Heer van Genderen Stort voor de kegels met roode kogels opgemaakte tabel.

Afstand van het midden der roode netvlieskogels tot aan de m. limitans ext. bij de duif, na verblijf:

Deel der retina.	IN HET LICHT:			IN HET DUISTER:		
	gemiddelde.	Aantal metingen.	gemidd. afwijking.	gemiddelde.	Aantal metingen.	gemidd. afwijking.
Het roode veld . .	**16.**	38	± 0.46	**21.3**	54	± 0.54
Fovea centr. . . .	**13.8**	5	± 0.64	**19.4**	16	± 0.59
Vóór het pecten. .	**14.6**	20	± 0.59	**20.7**	46	± 0.54
Achter het pecten.	**14.3**	3	± 0.43	**20.9**	32	± 0.63

De in verscheidene opzichten analoge verplaatsingen van het pigment in de retina staan niet in een onmiddellijk causaal verband tot de bewegingen der kegels.

Spreker wijst op de groote beteekenis der door den Heer van Genderen Stort ontdekte verschijnselen, als zijnde de eerste tot dusverre onder invloed van het licht waargenomene physiologische veranderingen van de kegels, en daarmede uitgangspunten voor reeksen van onderzoekingen, die voor de physiologie van het zien veel beloven. Tevens wijst spreker op het verband tusschen deze en andere tot dusverre in dier- en plantenrijk aangetoonde photomechanische werkingen, o. a. dáárin gelegen, dat ze op primaire wijzigingen van schijnbaar kleurloos protoplasma berusten.

NIEUWE UITKOMSTEN BETREFFENDE DE BEWEGINGEN VAN KEGELS EN PIGMENT IN DE RETINA ONDER DEN INVLOED VAN HET LICHT.

DOOR

TH. W. ENGELMANN,

verkregen in gemeenschap met den Heer

VAN GENDEREN STORT,

(Zie Proces-verb. der Zitting der K. Akademie van wetensch. te Amsterdam, Afdeel. Natuurkunde, 28 Juni 1884.)

Behalve bij kikvorschen en duiven, werden de bewegingen der kegels geconstateerd bij visschen (Abramis brama — zeer in 't oog vallend) en reptiliën (Tropidonotus natrix — minder sterk sprekend).

Bij den kikvorsch bleek van de tweelingskegels degene, die geen sterk lichtbrekend kogeltje in het uiteinde van het binnenlid bevat, niet bewegelijk, althans niet in vergelijking met den anderen tweeling (kogel-kegel). Een derde, kleinere soort van kegels, tot dusverre onbekend, gedroeg zich meer als de laatste. Er schijnen overgangen tusschen beiden voor te komen. Spreker houdt het voor niet onmogelijk, dat het jonge kogelkegels zijn, bestemd de oude, die in het leven te gronde gaan, te vervangen. Omtrent normale degeneratie en regeneratie in het netvlies zullen afzonderlijke onderzoekingen moeten worden verricht.

Bij alle kegels is slechts het door Spreker als „proto-

plasmatisch gedeelte" gekenmerkte bestanddeel van het binnenlid actief beweeglijk. Het „opticus-ellipsoid" behoudt nagenoeg constanten vorm en afmetingen.

Het absoluut en relatief bedrag van de photomechanische reacties der kegels hangt, behalve van de diersoort, voornamelijk af van de intensiteit en den duur der verlichting en van de golflengte. Bij het klimmen van de intensiteit en den duur, van nul af, neemt de lengte der binnenleden eerst snel, dan langzamer af. Reeds matig diffuus daglicht kan binnen 10—15 minuten (kikvorsch) nagenoeg maximale contractie voortbrengen: den toestand, waarin de kegels tot nu toe bijna zonder uitzondering werden afgebeeld en beschreven.

Proeven, waarin de dieren minuten tot uren lang achter rood of groen glas vertoefden, waarvan het absorptievermogen met behulp van spr.'s mikrospectraalphotometer bepaald was, bewezen dat de werking der meer breekbare stralen op de kegels gemiddeld grooter is dan die der minder breekbare. Toch kunnen ook deze bij langeren duur eene maximale verkorting voortbrengen. Het pigment kon in rood licht, ook bij eene maximale verkorting der kegels, boven en buiten de kegellaag blijven zitten, evenals in volkomen duister: een nieuw bewijs van de betrekkelijke onafhankelijkheid van beide verschijnselen van elkander. Het daalde daarentegen achter groen glas betrekkelijk zeer sterk (reeds door Angelucci opgemerkt).

Ook met prismatische kleuren werden proeven genomen, waarover Spreker later uitvoerig hoopt te kunnen handelen. Heden vermeldt hij ze slechts, in zooverre zij beteekenis hebben voor de vraag naar de *plaats* in het netvlies, van waar de prikkel tot contractie der binnenleden uitgaat. Het netvlies van vogels, wier kegel-binnenleden

op de grens van het buitenlid, soms ook in het binnenlid, intensief gekleurde olierijke droppels bevatten, scheen eenig uitzicht op de beantwoording dezer vraag te openen. Immers, hier kunnen slechts die golflengten de buitenleden bereiken, die door de gekleurde kogels worden doorgelaten. Indien nu uitsluitend dusdanige lichtstralen photomechanisch prikkelden, mocht men het voor bewezen houden, dat deze prikkeling niet in een der naar binnen van de buitenleden gelegen gedeelten van het netvlies plaats greep. Spreker bepaalde spectrometrisch de lichtabsorptie in de gekleurde bolleljes der duif, waarbij het bleek dat *alle* bolletjes *alle* stralen van 't zichtbare spectrum laten passeeren. Door de intensief roode kogels, die nog het meest geschikt zijn, wordt op de plaats van het maximum der absorptie (in 't geel groen) steeds nog 5—15 pCt. licht doorgelaten, van blauw en violet in den regel veel meer. Spreker belooft hierover nadere mededeelingen. Reeds nu echter moet als hoogst waarschijnlijk gelden, dat het licht de *binnenleden direct pr kkelt.* Immers, *groen* licht (intensiteit bij λ 630 = 0, bij λ 530 maximaal, bij λ 462 = 3 pCt.) gaf eene maximale werking bij alle roode kegels, onder voorwaarden, waaronder *rood* licht bijna geen effect uitoefende, uitgezonderd die gevallen, waar de binnenleden over hare geheele lengte roode droppels bevatten (rood veld). Hier was de werking van groen licht zeer zwak, die van rood betrekkelijk sterk.

Bij kegels met een ellipsoïde begint de verkorting — resp. de verlenging — steeds in de onmiddellijke nabijheid van deze en schrijdt bij klimmende prikkeling van daar langzaam naar de basis voort.

Onder talrijke andere, de bewegingen der kegels betreffende punten (afhankelijkheid van electrische, mecha-

nische, thermische enz. prikkels, van circulatie, enz. verband tot de galvanische door Holmgren ontdekte verschijnselen van het netvlies, enz.) zal Spreker heden niet uitwijden. Alleen wenscht hij nog de aandacht te vestigen op eene reeks van feiten, die voor het eerst het bestaan bewijzen van een *physiologische associatie der beide netvliezen* en verder van een *verband tusschen den verlichtingsgraad der huid van het lichaam en den toestand van pigment en kegels der beide retinae.*

Wanneer men bij een gedurende 12 uren of langer in 't duister gehouden kikvorsch („donkervorsch") of duif („donkerduif") slechts in één oog licht laat vallen, dan daalt het pigment en contraheeren zich de binnenleden der kegels ook in het andere, niet door licht getroffen oog, en wel gelijktijdig en in denzelfden (in onze proeven dikwijls maximalen) omvang als in het verlichte oog.

Bij kikvorschen gebeurde dit ook nog na decapitatie, niet meer na vernietiging van den inhoud der schedelholte. Het staafjesrood bleef in 't bedekte oog bestaan, ook wanneer het in 't andere volkomen was verbleekt.

De bewegingen van kegels en pigment der retinae van beide oogen zijn dus geassociëerd, evenals die der beide pupillen.

Hieruit, in verband met de tot heden bekende anatomische feiten, volgt, *dat de nerv. opticus niet slechts als lichtpercipiëerende, centripetaal geleidende, maar ook als centrifugaal geleidende, motorische zenuw voor kegels en pigment van het netvlies functioneert.*

De zenuwvezelen, door welke de associatie van beide netvliezen tot stand komt, zouden reeds in 't chiasma nn. opticorum zich kunnen overkruisen, (fibrae arcuatae orbitales Arnold; vezelen der commissura arcuata anterior van Hannover?). In dit geval zoude de inter-

retinale zenuwverbinding uit een zuiver anatomisch oogpunt een *interperipherische* verbinding zijn, op bekende genetische gronden echter tot de *intercentrale* kunnen teruggebracht worden.

Een andere mogelijkheid is, dat de associatorische geleidingsbanen zich door de tractus optici heen naar de hersenen begeven, waar dan, vermoedelijk met tusschenkomst van gangliëncellen, de overkruising zoude plaats hebben. Spreker hoopt dit spoedig te kunnen beslissen.

Zeker is, dat ook van de hersenen uit, *zonder de minste inwerking van licht ook op slechts één der beide oogen*, *pigment en kegels van beide oogen in beweging kunnen gebracht worden*, evenals door directe verlichting van het netvlies.

Werden kop en voorste extremiteiten van eenen donkervorsch met een geheel ondoorschijnende kap bedekt en alleen de rug en de achterste extremiteiten gedurende ongeveer $^1/_2$ uur aan een zeer helder dag- of aan zonlicht blootgesteld, onmiddellijk daarna de oogen in 't duister geëxstirpeerd en op de gewone wijze gehard, dan bleken in beide oogen het pigment zeer sterk (tot tusschen de binnenleden der staafjes) gedaald en de binnenleden der kegels verkort te zijn (in één geval maximaal). Het staafjesrood was niet merkbaar aangetast, zooals ook niet te wachten was.

Door licht op de *huid van den romp en de extremiteiten* te laten vallen, kan men dus in de netvliezen van in absoluut donker gehouden oogen de typische photomechanische reacties opwekken. Evenals bij de werking van het éene netvlies op het andere, hebben wij hier met eene soort van reflex van sensibele (huid) op sensibele (nn. optici) zenuwen te doen. Zouden dergelijke rapporten meer, misschien algemeen bestaan? Hoe vreemd

ook voorloopig deze feiten mogen schijnen: het bestaan bij vele, ook gewervelde, dieren van een vermogen om door middel van de huid, ook na exstirpatie der oogen, lichtstralen van verschillende intensiteit en golflengte te percipiëeren (zie vooral Vitus Graber), de kleursveranderingen der huid van visschen, amphibiën, enz., onder den invloed van licht, dat op de retina valt (Lister, Pouchet e. a.), bewijzen althans reeds het bestaan van lichtpercipiëerende vezelen in de huid, en van reflectorische zenuwwerkingen tusschen retina en huid, al is het dan ook in een aan de door Spreker gevondene tegenovergestelde richting.

Spreker belooft van tijd tot tijd verdere mededeelingen te zullen doen omtrent de heden besproken feiten en de uitkomsten der daaruit voortvloeiende nieuwe onderzoekingen.

ERRATA.

Bladz.	103,	regel	8	v. o.	staat	Bl.	12,	te	lezen:	Bl.	98.
„	110,	„	2	„ b.	„	„	20,	„	„	„	106.
„	115,	„	7	„ b.	„	„	27,	„	„	„	113.
„	117,	„	12	„ b.	„	„	32,	„	„	„	118.
„	121,	„	6	„ b.	„	„	24,	„	„	„	110.
„	124,	„	12	„ o.	„	„	2,	„	„	„	88.

Fig. 1.

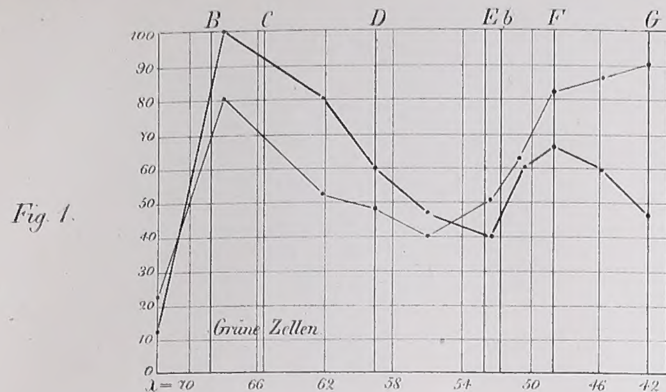


Fig. 2.

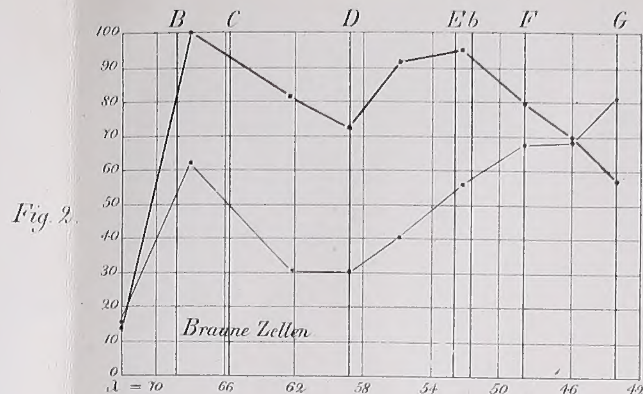


Fig. 3.

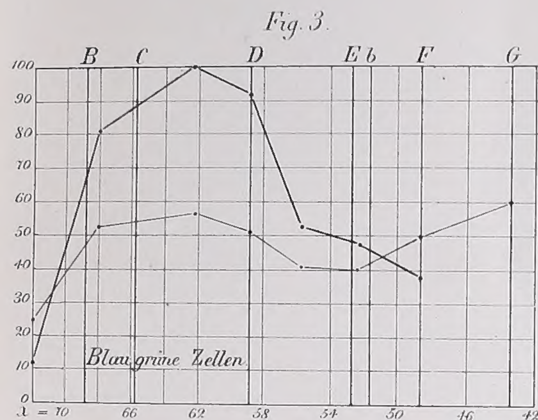


Fig. 5.

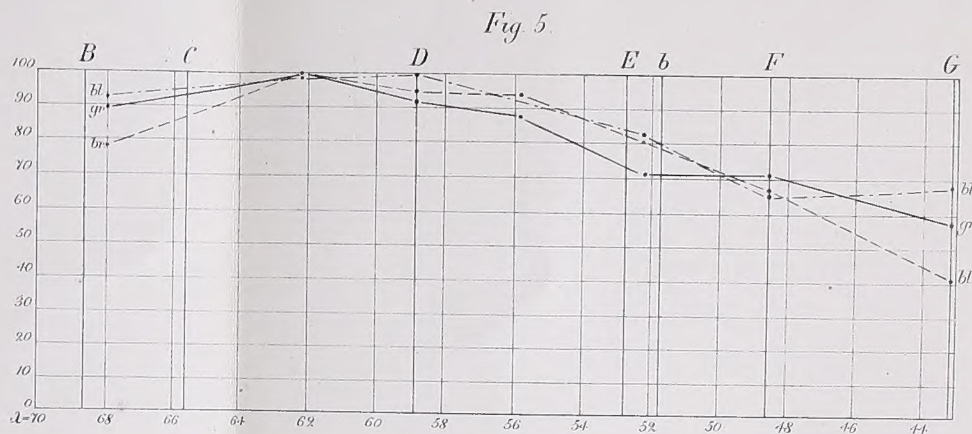


Fig. 4.

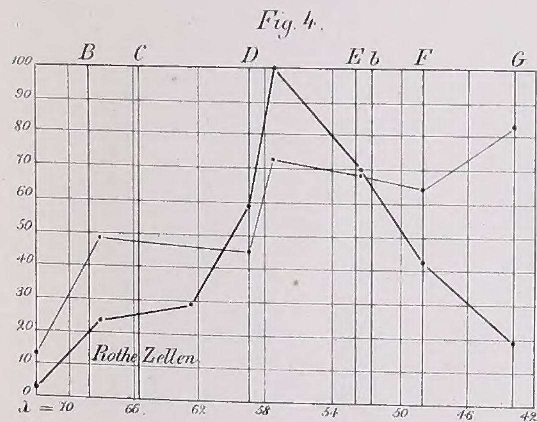


Fig. 6.

